

**RECOMENDAÇÕES SOBRE  
OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO  
DE SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO  
POR AMÔNIA**

**Brasília, 2009**

**Ministério do Meio Ambiente – MMA**

Secretária de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental – SMCQ / MMA

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610)

1ª edição – 2.000 exemplares  
Publicada em setembro/2008

**Ministério do Meio Ambiente**

**Ministro de Estado do Meio Ambiente**

Carlos Minc Baumfeld

**Secretária-Executiva**

Izabella Mônica Vieira Teixeira

**Secretária de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental – SMCQ**

Suzana Kahn Ribeiro

**Departamento de Mudanças Climáticas**

Diretora: Branca Bastos Americano

**Coordenação de Proteção da Camada de Ozônio**

Coordenadora: Magna Ludovice

**Equipe da Coordenação de Proteção da Camada de Ozônio**

Tatiana Zanette

Euler Martins Lage

Frank Amorim

Alex Silva

**Publicação**

Responsável técnico: Leonilton Tomaz Cleto

Revisão técnica: Liamarcia Silva Hora

Produção gráfica: Claudia Focking

Projeto gráfico e diagramação: Link Design

**Coordenação de Proteção da Camada de Ozônio**

Esplanada dos Ministérios Bloco B, 8º andar – Brasília/DF

Cep: 70068-900 | Telefone: (61) 3317-1934 | Fax: (61) 3317-1217

# Sumário

- 1 | Introdução, 5**
- 2 | Códigos e normas aplicáveis, 7**
  - 2.1 Normas brasileiras e internacionais
  - 2.2 “Guidelines & Posters”
  - 2.3 Sites na internet de referência
- 3 | Responsabilidades do operador do sistema, 11**
  - 3.1 Conhecimento básico
  - 3.2 Manutenção preventiva
- 4 | Sistemas de proteção, 17**
  - 4.1 Equipamentos de proteção individual
  - 4.2 Equipamentos de proteção coletiva
  - 4.3 Equipamentos auxiliares
  - 4.4 Precauções para manuseio de Amônia
  - 4.5 Tratamento de primeiros socorros
- 5 | Operação e manutenção – contaminação com água, 23**
  - 5.1 Causas da contaminação com água
  - 5.2 Efeitos provocados pela contaminação com água
  - 5.3 Detecção da contaminação com água
  - 5.4 Regeneração da Amônia
- 6 | Líquido enclausurado, 31**
  - 6.1 Líquido enclausurado em linhas e/ou componentes
  - 6.2 Desaceleração súbita do líquido
  - 6.3 Propulsão de líquido pelo vapor
- 7 | Modificações em sistemas existentes, 43**
  - 7.1 Recolhimento de Amônia
  - 7.2 Instalação do ponto de espera (Tie-In)
  - 7.3 Testes
  - 7.4 Início da operação após a modificação
- 8 | Procedimentos de operação e manutenção em instalações de Amônia, 51**
  - 8.1 Procedimento adequado de drenagem de óleo em vaso de pressão
  - 8.2 Procedimento inadequado de drenagem de óleo em vaso de pressão
  - 8.3 Procedimento de recolhimento de Amônia do reservatório de líquido
  - 8.4 Procedimento para inspeção e reparo nos condensadores evaporativos
  - 8.4 Procedimento sobre a manutenção geral do sistema de refrigeração
- 9 | Literatura de referência, software e bibliografia utilizados, 63**
  - 9.1 Literatura
  - 9.2 Softwares
  - 9.3 Bibliografia

**Apêndice A – Critérios de projeto para coletores de óleo, 65**



# 1. Introdução

O objetivo deste Guia de Referência é de apresentar algumas recomendações para uma operação e manutenção seguras em um sistema de refrigeração por Amônia a serem aplicados pelas equipes de operação e manutenção do sistema.

Este Guia de Referência abrange os aspectos de segurança a serem considerados, durante procedimentos operacionais de campo e serviços de manutenção no sistema.

Este documento não tem função de norma nem substitui as obrigações necessárias requeridas por autoridades locais, estaduais ou federais quanto aos aspectos de segurança a serem cumpridos para obtenção de licenças de instalação e/ou funcionamento de um sistema de refrigeração por Amônia.

Este documento deve ser utilizado por pessoal qualificado, com conhecimento teórico e prático sobre sistemas de refrigeração por Amônia e experiência adequada em operação e manutenção dos vários componentes do sistema.



## 2. Códigos e normas aplicáveis

Atualmente, as boas práticas e cuidados desenvolvidos e utilizados nos sistemas existentes de refrigeração por Amônia no Brasil, baseiam-se na documentação internacional disponível.

A comissão de estudos de refrigeração industrial – CE-55:001.04, do CB-55, da ABNT, está desenvolvendo uma norma brasileira sobre segurança em sistemas de refrigeração, a NBR 16069. A norma está baseada no **ANSI/ASHRAE Standard 15-2007** e utiliza as demais normas internacionais, como referência para discussão. A norma já está em fase final de elaboração, com o lançamento para consulta pública previsto ainda para 2009.

A seguir, os principais documentos disponíveis, relacionados à aplicação de Amônia em sistemas de refrigeração.

### 2.1 Normas brasileiras e internacionais

#### Normas Brasileiras

- **NR-13 – 2008 – Caldeiras e Vasos de Pressão** – Normas Regulamentadoras da Legislação de Segurança e Saúde no Trabalho - Ministério do Trabalho – Lei nr. 6514 – 22/12/1977.
- **P4.261 – Manual de Orientação para a Elaboração de Estudos de Análise de Riscos** – CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – 13/08/2003.
- **NBR 13598 – Vasos de Pressão para Refrigeração** – ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – 04/1996.

#### “Standards” Internacionais

- **ANSI/ASHRAE Standard 15-2007 – Safety Code for Mechanical Refrigeration** – American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers.
- **ANSI/IIAR 2-2008 – Equipment, Design & Installation of Ammonia Mechanical Refrigerating Systems** – International Institute of Ammonia Refrigeration.
- **EN 378 Part 1- 4 – 2008: Refrigerating systems and heat pumps - Safety and environmental requirements** – European Committee for Standardisation
  - Part 1: Basic requirements, definitions, classification and selection criteria

- Part 2: Design, construction, testing, marking and documentation
- Part 3: Installation site and personal protection
- Part 4: Operation, maintenance, repair and recovery
- **ISO 5149:1993 – Mechanical Refrigerating Systems used for Cooling and Heating – Safety Requirements** – International Organization for Standardization.
- **ANSI/ASME B31.5 - 2001 – Refrigeration Piping** – American Society of Mechanical Engineers.
- **ANSI/IIAR Standard 3-2005: Ammonia Refrigeration Valves.**

#### **Código ASME para Dimensionamento de Vasos de Pressão**

- **ASME – Pressure Vessel Code – 2004 – Section VIII – Div. 1 – Rules for Construction of Pressure Vessels** – American Society of Mechanical Engineers.
- **ASME – Pressure Vessel Code – 2004 – Section II – Materials – Part A – Ferrous Material Specifications** – American Society of Mechanical Engineers.
- **ASME – Pressure Vessel Code – 2004 – Section II – Materials – Part C – Specifications for Welding Rods Electrodes and Filler Metals** – American Society of Mechanical Engineers.
- **ASME – Pressure Vessel Code – 2004 – Section II – Materials – Part D – Properties** – American Society of Mechanical Engineers.
- **ASME – Pressure Vessel Code – 2004 – Section V – Nondestructive Examination** – American Society of Mechanical Engineers.
- **ASME – Pressure Vessel Code – 2004 – Section IX – Welding and Brazing Qualifications** – American Society of Mechanical Engineers.

## **2.2 “Guidelines & Posters”**

O IIAR – International Institute of Ammonia Refrigeration, possui atualmente os seguintes **Boletins/Guias de Referência** relacionados à aplicação de Amônia em sistemas de refrigeração, entre suas publicações:

- **Bulletin R1 – 1983:** A Guide to Good Practices for the Operation of an Ammonia Refrigeration System.



- **Bulletin 107 – 1997:** Guidelines for: Suggested Safety and Operating Procedures when Making Refrigeration Plant Tie-Ins.
- **Bulletin 108 – 1986:** Guidelines for: Water Contamination in Ammonia Refrigeration Systems.
- **Bulletin 109 – 1997:** Guidelines for: IIAR Minimum Safety Criteria for a Safe Ammonia Refrigeration System.
- **Bulletin 110 – 1993:** Guidelines for: Start-Up, Inspection and Maintenance of Ammonia Mechanical Refrigerating Systems.
- **Bulletin 111 – 2002:** Guidelines for: Ammonia Machinery Room Ventilation.
- **Bulletin 112 – 1998:** Guidelines for: Ammonia Machinery Room Design.
- **Bulletin 114 – 1991:** Guidelines for: Identification of Ammonia Refrigeration Piping and System Components.
- **Bulletin 116 – 1992:** Guidelines for: Avoiding Component Failure in Industrial Refrigeration Systems Caused by Abnormal Pressure or Shock.

O IIAR possui ainda uma série de “Posters”, que podem ser utilizados como referência rápida no ambiente de trabalho, os quais já estão **disponíveis em português**, com os seguintes temas:

- **Equipamento de Proteção para Sistemas de Refrigeração.**
- **Manutenção Preventiva Básica para Sistemas de Refrigeração.**
- **Primeiros Socorros ao Contato com Amônia.**
- **Instruções para Drenagem de Óleo**

O IOR – Institute of Refrigeration, com sede no Reino Unido, possui os seguintes documentos específicos para refrigeração por Amônia:

- **IOR Guidance Note 10 - 2005: Working with Ammonia.**
- **IOR Ammonia Guidelines - 2005.**
- **Oil Draining from Ammonia Systems**
- **IOR Ammonia Safety Code – 2002 (Norma em Revisão).**

## 2.3 Sites na Internet de referência

A seguir, uma lista de “sites” de referência onde é possível obter o material listado acima:

- **ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas:** [www.abnt.org.br](http://www.abnt.org.br)
- **CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental** – Secretaria do Meio Ambiente do Governo do Estado de São Paulo: [www.cetesb.sp.gov.br](http://www.cetesb.sp.gov.br)
- **Ministério do Trabalho** – Normas Regulamentadoras da Legislação de Segurança e Saúde no Trabalho – [www.mte.gov.br/legislacao/normas\\_regulamentadoras](http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras)
- **IIAR – International Institute of Ammonia Refrigeration:** [www.iiar.org](http://www.iiar.org)
- **ASHRAE – American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers:** [www.ashrae.org](http://www.ashrae.org)
- **CEN - European Committee for Standardisation:** [www.cenorm.be](http://www.cenorm.be)
- **ISO – International Organization for Standardization:** [www.iso.org](http://www.iso.org)
- **IOR – Institute of Refrigeration:** [www.ior.org.uk](http://www.ior.org.uk)

# 3. Responsabilidades do operador do sistema

Este capítulo trata da capacitação e das qualificações mínimas necessárias ao operador do sistema e tem como base o Bulletin R1 – 1983: A Guide to Good Practices for the Operation of an Ammonia Refrigeration System [1]. Deve-se enfatizar que é essencial um treinamento específico, com programa de reciclagem educacional contínua, para se manter uma equipe de operação capacitada e para garantia da operação segura do sistema.

## 3.1 Conhecimento básico

Inicialmente, para operação de um sistema de refrigeração por Amônia, é necessário um conhecimento pleno dos fundamentos básicos de refrigeração, incluindo as características do ciclo de compressão à vapor, as relações pressão x temperatura do fluido refrigerante, as funções e características principais dos componentes do sistema de refrigeração e os aspectos envolvendo a sua segurança. Não significa que o operador saiba como projetar um sistema, mas precisa ter conhecimento suficiente dos vários aspectos do mesmo, principalmente sobre o sistema no qual ele opera. O Operador deve:

- Operar o sistema de maneira segura, conforme os requisitos de projeto e dentro das faixas limites de operação normal;
- Conhecer a função e operação de cada componente do sistema;
- Entender a operação combinada entre os vários componentes do sistema.

O operador deve estar familiarizado com os seguintes componentes e operação:

### 3.1.1 Compressor

Cada tipo e modelo de compressor (ainda que do mesmo fabricante) possui uma série de limites operacionais. Estes limites (relacionados principalmente a pressões,

temperaturas e rotação) definem a faixa de aplicação na qual cada compressor pode operar de maneira segura. Os limites mais importantes são protegidos por controles de segurança, os quais o operador deve estar familiarizado com os pontos de ajuste e função. A seguir, os principais elementos de controle:

- Baixa pressão de sucção;
- Alta pressão de descarga;
- Baixa pressão diferencial de óleo;
- Alta temperatura de descarga;
- Baixa temperatura de descarga;
- Alta temperatura de óleo;
- Alta corrente do motor elétrico;
- Outros controles de segurança específicos para cada tipo de compressor.

### 3.1.2 Válvulas de controle automático

A função básica das válvulas de controle é de regular automaticamente a pressão, temperatura, nível ou vazão de injeção de fluido refrigerante nos vários componentes do sistema. É importante saber:

- O funcionamento da válvula (princípio de operação e condições);
- Qual a função de regulagem da válvula;
- Quais os ajustes da válvula e como ajustá-la para determinada condição de operação e controle;
- O que acontece com o sistema quando a válvula abre ou fecha;
- O que acontece com o sistema quando a válvula é isolada do restante do sistema ou quando há um “bypass” manual;
- O que acontece com a válvula e o sistema quando há uma falha de energia. O que acontece quando a válvula é re-energizada.

### 3.1.3 Válvulas de bloqueio

Estas válvulas são instaladas no sistema com a função de isolar certos componentes do restante do sistema ou de bloquear/parar o fluxo de fluido refrigerante. Elas podem

ser operadas manualmente, ou através de comando elétrico, pneumático e até através de piloto pelo fluido refrigerante pressurizado. É importante saber:

- Onde cada válvula de bloqueio está localizada no sistema;
- O que acontece com o sistema quando se abre ou fecha a válvula;
- Qual a posição normal de operação da válvula (normalmente aberta ou normalmente fechada);
- Como determinar se a válvula está aberta ou fechada (quando não há uma indicação externa evidente).

### **3.1.4 Válvulas de alívio de pressão (válvulas de segurança)**

As válvulas de alívio de pressão tem a função essencial de evitar que haja rupturas devido à pressão excessiva em vasos de pressão, compressores, trocadores de calor, descargas de bombas de Amônia e em alguns trechos da tubulação. Todas as válvulas de segurança precisam ser inspecionadas periodicamente, conforme os requisitos da legislação. O operador deve saber:

- A localização das válvulas de alívio de pressão no sistema;
- O ponto de ajuste correto de cada válvula de alívio de pressão. Cada válvula deve ser distintamente identificada e “tagueada”;
- Qual componente ou parte do sistema cada válvula foi designada para proteger;
- Qual ação (condição de desvio de operação) deve ocorrer para que a válvula eventualmente venha a atuar.

### **3.1.5 Controles elétricos/eletrônicos**

O sistema de refrigeração possui vários componentes de controle elétrico ou eletrônico tais como disjuntores, fusíveis, relés, temporizadores, malhas de controle e várias funções de proteção controladas por sistema computadorizados. Muitos deles localizados em um painel elétrico, painel microprocessado ou ainda na tela de um sistema de supervisão e gerenciamento do sistema de refrigeração. É responsabilidade do operador conhecer plenamente:

- Qual o propósito de cada controle;
- Qual componente ou parte do sistema cada controle é designado para proteger;

- O que fazer em caso de falha de energia;
- O que acontece com o sistema em um período longo de desligamento;
- Qual a sequência de operação para desligamento completo do sistema;
- Qual a sequência de operação para a entrada em funcionamento do sistema;
- Como aliviar o sistema devido a uma elevação de pressão provocada por uma parada do sistema, durante a uma falha de energia.

### 3.1.6 Mudanças de temperatura/pressão no sistema

São muitos os fatores que podem afetar as temperaturas e pressões normais de operação do sistema de refrigeração incluindo mal funcionamento mecânico ou elétrico, temperatura ambiente, carga de produto, etc. É importante saber:

- Quais as condições de projeto e as condições normais de operação do sistema, incluindo temperaturas e pressão de cada regime de operação;
- Quais as causas e efeitos em caso de mudança de temperatura ou pressão:
  - No lado de baixa pressão do sistema;
  - Na pressão intermediária do sistema (para sistemas de duplo estágio);
  - No lado de alta pressão do sistema.
- Em caso de desvio operacional, quais ações serão tomadas de modo a restaurar as condições normais de temperatura e pressão nos vários pontos do sistema.

### 3.1.7 Recolhimento de fluido refrigerante

Um sistema de refrigeração bem projetado inclui a facilidade de se transferir o fluido refrigerante de uma parte para outra do sistema com o propósito de manutenção. Cada operador deve ser bem treinado para realizar operações de recolhimento e transferência em todas as partes do sistema. Além disso deve saber:

- Qual ação tomar quando houver uma elevação de pressão no sistema;
- Qual ação tomar em caso de um vazamento não previsto;
- Como realizar as operações de recolhimento no sistema ou manter vácuo nos diferentes componentes do sistema, para realização de reparos.

## 3.2 Manutenção preventiva

Um dos fatores mais importantes para a operação segura do sistema de refrigeração é o conhecimento do operador com relação à manutenção preventiva dos vários componentes do sistema. Cada componente requer uma rotina de inspeção, limpeza ou ajuste interno e possivelmente a substituição. As seguintes operações/ revisões devem ser realizadas periodicamente:

- **Compressores** devem ser revisados conforme a periodicidade e requisitos do fabricante;
- **Óleo lubrificante** deve ser inspecionado e substituído conforme a periodicidade e requisitos do fabricante do compressor;
- **Filtros** devem ser limpos ou substituídos conforme recomendação do fabricante. Caso seja necessário realizar manutenções com maior frequência, pode ser um indicativo de problemas relacionados à qualidade e pureza da Amônia no sistema;
- **Controles de Segurança** devem ser inspecionados e testados através de operação manual para garantir que os mesmos estão funcionando corretamente. Quando em falha, deverão ser substituídos imediatamente;
- **Válvulas de Bloqueio** devem ser verificadas quanto à vedação completa através de manobras periódicas de inspeção de cada válvula. O castelo deve estar livre de pintura ou ferrugem e o corpo da válvula livre de vazamento;
- **Válvulas de Controle Automático** devem ser verificadas através da sua operação manual. Componentes defeituosos tais como bobinas de solenóides, pilotos e as partes internas (mecânicas) devem ser imediatamente substituídas. Filtros de linha antes das válvulas devem ser limpos, especialmente se for verificado alguma perda de capacidade;
- **Drenos de Óleo** devem ser verificados e o excesso de óleo deve ser removido com a frequência necessária. Se houver um aumento da frequência de drenagem de óleo é um sintoma que há arraste excessivo de óleo dos compressores para o sistema;

- **Válvulas de Expansão** devem ser verificadas quanto ao ajuste correto. Em caso de válvulas eletrônicas os sensores de pressão e temperaturas deverão ser calibrados periodicamente;
- **Manômetros e Termômetros de Campo, Sensores Temperatura e Transdutores de Pressão** devem possuir um programa de calibração periódico;
- **Visores de Nível** devem ser mantidos limpos e desobstruídos. Devem ser protegidos de maneira adequada. Tubos de vidro devem ser evitados e substituídos por visores blindados com proteção externa;
- **Controladores de Nível e Sensores de Nível e Alarmes de Nível** devem ser inspecionados e testados através de operação manual para garantir que os mesmos estão funcionando corretamente. Quando em falha, deverão ser substituídos imediatamente;
- **Bombas de Refrigerante** devem ser verificadas quanto ao desempenho através de medições constantes das pressões de sucção e descarga e da corrente dos motores. Devem ser revisadas conforme a periodicidade e requisitos do fabricante;
- **Equipamentos de Proteção Individual e Coletiva** tais como máscaras, luvas, aparelhos autônomos de respiração, lava-olhos, chuveiros e sinalização de emergência devem ser verificados regularmente;
- **Procedimentos de Emergência** devem ser frequentemente executados em exercícios simulados e revisados pelo menos a cada 2 anos.  
Outros itens a serem constantemente inspecionados:
- **Tubulação de Amônia** e suportes da tubulação devem ser inspecionados quanto à vibração. O isolamento térmico também deve ser verificado em toda sua extensão quanto a danos ou rompimento da barreira de vapor, condensação ou congelamento no revestimento externo;
- **Vazamentos.** Uma boa instalação de Amônia não deve ter vazamentos. Caso sejam verificados traços de óleo em conexões flangeadas ou próximo a válvulas se perceber o odor de Amônia, os mesmos devem ser verificados. É importante uma verificação periódica nos vários pontos sujeitos a vazamentos na instalação;
- **Sistemas Hidrônicos** devem ser verificados quanto à possibilidade de vazamentos através de análise periódica da qualidade de água se há traços de contaminação com Amônia.



# 4. Sistemas de proteção

## 4.1 Equipamentos de proteção individual

Todo operador trabalhando na sala de máquinas deve normalmente usar um conjunto de equipamentos para proteção individual, que dependerá da atividade em questão. Tradicionalmente se adotam óculos, botas e capacete na maioria dos casos. Nas operações onde há risco de vazamento de Amônia a proteção respiratória é essencial, e deve incluir pelo menos uma máscara de proteção facial com filtro apropriado.

As situações de emergência podem gerar condições bem mais severas que aquelas observadas na operação do dia a dia. Para essas situações, uma brigada de emergência deve assumir o controle da situação, a qual deverá estar munida de equipamentos de proteção individual especiais antes de iniciar qualquer ação corretiva. Em sistemas de refrigeração por Amônia, recomenda-se os seguintes equipamentos de auxílio aos operadores e à brigada de emergência:

- **Capacetes, Óculos, Botas, Capas e Luvas de Neoprene**, para proteção corporal contra radiação, respingos, objetos em queda, para todos os operadores e membros da brigada de emergência;
- **Máscaras Panorâmicas**, que proporcionam proteção respiratória para atividades operacionais sujeitas a pequenos vazamento de Amônia onde a concentração de Amônia for menor que 500 ppm. Não deve ser utilizada em locais confinados, onde existam excesso de vapores ou nuvem tóxica. Recomenda-se que cada operador possua sua máscara e seja treinado para utilizá-la. Os filtros devem ser constantemente verificados e mantidos dentro do prazo de validade;
- **Equipamento de Respiração Autônoma (SCBA)**, que proporciona proteção respiratória total numa operação de resgate de pessoas intoxicadas ou controle de situações críticas, principalmente em locais confinados. O cilindro deve ter autonomia mínima de 20 min. Recomenda-se que hajam pelo menos dois equipamentos desses na instalação e que estejam estrategicamente localizados, em abrigos apropriados e em posição de serem rapidamente vestidos;
- **Roupas de Proteção de Nível “A” (Macacão de PVC ou Borracha Clorobutílica, com Botas e Luvas de Neoprene ou Borracha incorporadas ao macacão)**, que

proporcionam total proteção corporal para os casos onde há necessidade de controlar vazamentos de Amônia líquida ou quando for necessário entrar dentro da nuvem tóxica. Recomenda-se que haja pelo menos um conjunto completo desses na instalação junto com os equipamentos de respiração autônoma. Os operadores da sala de máquinas devem ser treinados na sua utilização pois em caso de grande vazamento, os mesmos deverão utilizá-las para acesso à sala de máquinas para identificação da fonte de vazamento e procedimentos específicos (como o fechamento válvulas) para cessar o vazamento.

## 4.2 Equipamentos de proteção coletiva

Nas operações de resgate de pessoas atingidas por respingos ou jatos de Amônia e/ou intoxicadas pela inalação de vapores, são necessários os seguintes equipamentos:

- **Chuveiro de Emergência e Lava-olhos**, que deverão ser instalados próximos às portas de saída da sala de máquinas;
- **Manta para Fogo e Maca, Cobertor, Estojo de Primeiros Socorros e Garrafa de Oxigênio com Máscara** a serem mantidos em abrigos apropriados e de fácil acesso à brigada de emergência.

## 4.3 Equipamentos auxiliares

- **Rádio portátil**, para uso constante do coordenador local de emergência do turno, possibilitando uma localização e comunicação rápida entre a portaria da instalação, o coordenador e os vários agentes externos (bombeiros, polícia, etc.);
- **Birutas**, com iluminação noturna, instaladas em pontos distintos da instalação, sem as quais não será possível orientar a ação da brigada de emergência e nem decidir pela forma de evacuação durante um escape;
- **Elementos de Sinalização**, incluindo:
  - **Cones reflexíveis**;
  - **Rolos de fitas de isolamento reflexivo**;
  - **Placas de aviso** sinalizadoras;
  - **Bandeirolas** de sinalização;

- **Lanternas** à prova de explosão com baterias de longa duração;
- **Megafone** à prova de explosão;
- **Ventiladores** portáteis;
- **Gerador** portátil de emergência;
- **Detectores Eletrônicos de Amônia** portáteis.

Todos os equipamentos de emergência devem ser freqüentemente submetidos a uma inspeção rigorosa, por uma pessoa tecnicamente qualificada a qual deve relatar sempre que haja a necessidade de manutenção ou substituição.

## 4.4 Precauções para manuseio de Amônia

EPIs – Equipamentos de Proteção Individual – não substituem condições seguras de trabalho, mas certas operações podem exigir alguma proteção mínima, enquanto que situações de emergência demandarão um alto grau de proteção pessoal.

Qualquer pessoa que eventualmente tenha que usar estes equipamentos deve estar totalmente treinada e conhecer suas limitações. A seguir algumas recomendações sobre o uso de EPIs e precauções em operações de manuseio com Amônia:

- Óculos ampla-visão e luvas, de neoprene ou borracha, são os equipamentos mínimos a serem usados por qualquer pessoa trabalhando na instalação, em condições normais;
- Para as operações de drenagem de óleo, purgas, retirada de amostras, deve-se proteger o corpo contra respingos e projeções, botas de borracha, luvas e além disso usar máscara panorâmica para proteção respiratória. Em alguns casos será necessário o uso de avental de PVC ou borracha clorobutílica;
- Use, sempre que for trabalhar com Amônia, máscaras com o filtro apropriado e dentro do prazo de validade;
- O local de trabalho deverá ter ventilação adequada;
- Saiba onde se encontram os sistemas de respiração autônoma e como usá-los. No caso de uma emergência, deve-se usar equipamento de respiração autônoma, que proporciona a proteção total necessária numa manobra de resgate ou controle de situações críticas;

- Ao mais leve cheiro de Amônia, coloque máscara e procure o vazamento, avisando a manutenção e interditando a área;
- Evitar que pessoas com doenças na visão e/ou pulmões transitem pela área e muito menos trabalhem neste local;
- Quando houver Amônia líquida em tubulações ou vasos, esta deverá ser totalmente evaporada antes de qualquer serviço nestes itens, deixando a área livre e demarcada durante a operação.;
- O supervisor de segurança deverá autorizar os serviços de manutenção mediante uma permissão para trabalho;
- Manter quaisquer outros compostos gasosos afastados da Amônia, tais como Cloro, GLP, ácidos, etc.

## 4.5 Tratamento de primeiros socorros

É importante que em todos os atendimentos os socorristas estejam usando proteção respiratória adequada e removam a vítima do local para uma área livre e descontaminada mais próxima possível, e solicitem imediatamente a assistência médica e ambulância.

No caso do produto ter atingido os olhos a rapidez será vital. Os olhos devem ser lavados com solução lava-olhos, água boricada, ou água corrente durante no mínimo 10 minutos. Se não houver serviços médicos disponíveis a lavagem deve continuar por mais 20 minutos.

No caso do produto ter atingido a pele, as roupas que tiverem entrado em contato com o produto devem ser removidas com cuidado (pois a roupa pode se colar ao corpo) e as partes do corpo atingidas devem ser lavadas abundantemente.

No caso de inalação de vapores, o acidentado deve ser colocado diretamente no solo para um possível tratamento de respiração artificial e/ou massagens cardíacas. Caso a respiração esteja difícil, aplicar oxigênio com aparelho de respiração controlada.

Se a vítima parou de respirar, aplicar respiração artificial. No caso de parada cardíaca, aplicar massagem cardíaca externa.

No caso de ingestão, forneça grandes quantidades de água para beber se a vítima ainda estiver consciente. Não induza o vômito.

Um tratamento sintomático e de fortalecimento geral será necessário após a fase crítica da intoxicação. As consequências de uma intoxicação com Amônia não ultrapassam normalmente mais do que 72 horas, mas as lesões oculares poderão ser permanentes. Se a exposição for severa, o paciente deverá ser mantido em observação médica por no mínimo 48 horas, uma vez que existe a possibilidade de edema pulmonar retardado.



# 5. Operação e manutenção – contaminação com água

## 5.1 Causas da contaminação com água

A contaminação com água em uma instalação pode ocorrer desde o período da montagem da instalação e até durante a operação normal do sistema.

Contaminação durante a montagem:

- Condensação (de umidade) dentro da tubulação não protegida durante a montagem;
- Equipamentos, tubulação e demais componente expostos ao tempo durante o período de montagem sem proteção, ou sem pressurização interna (com Nitrogênio, por exemplo);
- Vasos de pressão após testes hidrostáticos que foram mal drenados;
- Condensação (de umidade) devido a teste pneumático das linhas utilizando ar úmido;
- Vácuo mal feito (ou nem realizado);
- Carga inicial de Amônia com presença de água (proveniente de fornecedores não qualificados). Deve-se exigir o certificado de pureza (99.95%) da carga de Amônia a ser fornecida.

Contaminação durante a operação:

- Ruptura de tubos de trocadores “Shell-and-Tube”, principalmente em resfriadores de água ou condensadores a água;
- Procedimentos não apropriados de drenagem de óleo ou purga de Amônia durante a manutenção em vasos ou linhas, com pressão abaixo da atmosférica ( $T_{ev} < -33.5^{\circ}\text{C}$ ). O risco aumenta quando a purga é feita para tanques com água e, neste caso, é recomendável a instalação de válvulas de retenção na linha de purga para evitar que pelo contra-fluxo a água penetre no interior do circuito de refrigeração;

- Pequenos vazamentos em válvulas, juntas, selos de bombas, selos de compressores e em serpentinas de evaporadores quando operam com baixas pressões (com  $T_{ev} < -33.5^{\circ}\text{C}$ ), ou mesmo em operação de recolhimento;
- Procedimento de vácuo não apropriado após a manutenção de um equipamento do sistema. Muitas vezes nem é feito o vácuo;
- Amônia utilizada para reposição com presença de água (proveniente de fornecedores não qualificados).

No entanto, nem sempre é possível evitar a penetração de água no sistema. Além dos cuidados com a drenagem e com o vácuo, fica difícil avaliar a contaminação ao longo dos anos senão pela análise de amostras em vários pontos da instalação.

Uma forma de se observar o quanto de água penetra em sistemas com baixas pressões que possuem purgadores de ar é através da monitoração da purga de ar. É importante lembrar que o ar que eventualmente penetra no circuito de refrigeração possui umidade, mas o ar que é purgado é completamente seco, pois a água se solubiliza com a Amônia e fica acumulada no sistema. Quando se considera um período de 10 anos não é surpresa encontrar 5-10% de água na instalação.

Uma pesquisa realizada nos anos 90 [3] em mais de 100 instalações da Dinamarca, Noruega e Suécia, mostrou que grande parte delas continham cerca de 2% a 6% de água e que mais de 10% das instalações possuíam mais do que 8% de água acumulada no separador de líquido no lado de baixa pressão.

## 5.2 Efeitos provocados pela contaminação com água

Os principais efeitos da contaminação da Amônia com água são:

- A água que entra no circuito de refrigeração irá se acumular no fundo dos separadores de líquido e evaporadores do sistema. Isto provocará uma diminuição da capacidade efetiva e do COP do sistema numa proporção aproximada à quantidade de água acumulada ( ex. 5% de água significa uma perda de cerca de 5% de capacidade no sistema);
- Reações químicas com a formação de hidróxido de amônio ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) que podem provocar corrosão galvânica em válvulas e linhas, principalmente onde há acúmulo de óleo;



- Juntamente com a presença de oxigênio (do ar que penetra no circuito de refrigeração), ocorre a quebra das cadeias moleculares do óleo, através da oxidação, nitratação e formação de compostos nitrosos. Estes compostos são solúveis em Amônia e são arrastados após o separador de óleo. Com isso, o consumo de óleo se torna excessivo e vários componentes podem se deteriorar devido à corrosão.

A seguir, um exemplo de uma planta operando a uma temperatura de evaporação de  $-40^{\circ}\text{C}$  e uma temperatura de condensação de  $35^{\circ}\text{C}$ , com compressores de parafuso em sistema de duplo estágio (“booster”) {1}. O que acontecerá com o consumo de energia e a capacidade se a contaminação da água nos evaporadores é de 10% ou de 20%?

- 100%  $\text{NH}_3$  e 0%  $\text{H}_2\text{O}$  nos evaporadores:

$$T_{\text{ev}} = -40^{\circ}\text{C}$$

$$P_{\text{ev}} = 70 \text{ kPa abs (0.70 bar abs)}$$

$$T_{\text{cd}} = 35^{\circ}\text{C}$$

$$\text{COP} = 1.80$$

- 90%  $\text{NH}_3$  e 10%  $\text{H}_2\text{O}$  nos evaporadores:

$$T_{\text{ev}} = -40^{\circ}\text{C}$$

$$P_{\text{ev}} = 63 \text{ kPa abs (0.63 bar abs)}$$

$$T_{\text{cd}} = 35^{\circ}\text{C}$$

$$\text{COP} = 1.69$$

- 80%  $\text{NH}_3$  e 20%  $\text{H}_2\text{O}$  nos evaporadores

$$T_{\text{ev}} = -40^{\circ}\text{C}$$

$$P_{\text{ev}} = 56 \text{ kPa abs (0.56 bar abs)}$$

$$T_{\text{cd}} = 35^{\circ}\text{C}$$

$$\text{COP} = 1.60$$

Com o aumento gradativo da contaminação da Amônia com água, o valor do COP do compressor vai diminuir. Tomando como exemplo um túnel de congelamento com capacidade de refrigeração de 1500 kW (1290000 kcal/h), que opera 16 horas por dia, 360 dias por ano, nestas condições de funcionamento, o comparativo a seguir mostra qual o consumo de energia adicional (em kWh) necessário para se obter a mesma capacidade de refrigeração:

- Com 100% NH<sub>3</sub> e 0% H<sub>2</sub>O nos evaporadores:**

Para 1500 kW de capacidade, o consumo de energia para cada condição será:  
 $1500 \text{ kW} / 1.80 = 833.3 \text{ kW}$   
 $12 \text{ h} \times 360 \text{ dias} \times 833.3 \text{ kW} / (1000 \text{ kW/MW}) = 3600 \text{ MWh por ano}$
- Com 90% NH<sub>3</sub> e 10% H<sub>2</sub>O nos evaporadores:**

$1500 / 1.69 = 887.6 \text{ kW}$   
 $12 \text{ h} \times 360 \text{ dias} \times 887.6 \text{ kW} / (1000 \text{ kW/MW}) = 3835 \text{ MWh por ano}$   
 Consumo adicional:  $3835 - 3600 = 235 \text{ MWh/ano}$ , para cada 1500 kW de Capacidade.  
 Considerando ~R\$ 150,00/MWh, obtém se o seguinte custo adicional:  
**Custo Adicional: R\$ 35.250,00/ ano, para cada 1500 kW de Capacidade**
- Com 80% NH<sub>3</sub> e 20% H<sub>2</sub>O nos evaporadores:**

$1500 / 1.60 = 937.5 \text{ kW}$   
 $12 \text{ h} \times 360 \text{ dias} \times 937.5 \text{ kW} / (1000 \text{ kW/MW}) = 4050 \text{ MWh por ano}$   
 Consumo adicional:  $4050 - 3600 = 450 \text{ MWh/ano}$ , para cada 1500 kW de Capacidade.  
**Custo Adicional: R\$ 67.500,00/ ano, para cada 1500 kW de Capacidade**

A Tabela 01 indica a redução de capacidade e do COP, para o exemplo citado, operando no regime -40°C/-10°C/+35.0°C {1}.

Quantidade de água na Amônia	0%	5%	10%	15%	20%
Pressão (kPa abs) a -40°C	70.0	66.5	63.0	60.5	56.0
Capacidade (kW)	1500	1407	1347	1292	1214
COP	1.80	1.73	1.69	1.65	1.60
Redução de capacidade	---	6%	10%	14%	19%
Redução de COP	---	4%	6%	8%	11%

## 5.3 Detecção da contaminação com água

O **IIAR Bulletin 108-1986 [2]** descreve um procedimento adequado, incluindo todo o apparatus necessário para coleta e análise para a determinação da concentração de água em uma amostra de Amônia contaminada. Porém, para uma análise criteriosa, recomenda-se a contratação de uma empresa especializada na retirada da coleta e na realização da análise em laboratório. Alguns fornecedores de Amônia para sistemas de refrigeração possuem este serviço.

Os melhores pontos do sistema para a coleta de amostras são a linha de descarga das bombas de Amônia e os pontos de drenagem óleo (ou de líquido) dos vasos separadores de líquido do lado de baixa pressão.

Deve-se observar que nos separadores de líquido, pode haver uma separação parcial de água da Amônia no fundo, o que resultará em 3 regiões de líquido distintas:

- Água no fundo, com uma pequena concentração de Amônia (líquido mais denso);
- Óleo no nível intermediário (mais denso que a Amônia);
- Amônia líquida contaminada com água na camada superior.

Esta estratificação pode ser observada no processo de drenagem de óleo dos coletores de óleo. Quando é grande a presença de água, logo no início da drenagem para o recipiente externo (ex. balde), percebe-se que o líquido transparente que sai não possui um odor pungente e nem vaporiza com grande intensidade, pois trata-se de água (ou solução fraca de hidróxido de Amônia). Em seguida vem o óleo e finalmente a Amônia contaminada.

A amostra a ser coletada para fins de análise de concentração de água, deve ser aquela que contém Amônia contaminada, e não a água inicial da drenagem.

## 5.4 Regeneração da Amônia

De forma a manter as condições de operação dentro de limites aceitáveis, recomenda-se que o percentual de água seja mantido no máximo em 0.5% (o grau de pureza da Amônia recomendada para sistemas de refrigeração é de 99.95%, ou seja no máximo 0.05% de água). Para que isto seja possível é necessário a utilização de um

regenerador de Amônia, um equipamento onde a Amônia se separa por evaporação da mistura água-Amônia e a água residual (no estado líquido) é drenada do sistema.

A Figura 01 apresenta um esquema de um Regenerador de Amônia utilizando gás quente como fonte de calor para evaporação de Amônia, que funciona da seguinte forma:

- Inicialmente, com o vaso vazio e a válvula de saída (de Amônia regenerada) para o separador de líquido aberta, abre-se a válvula de bloqueio da linha de entrada de Amônia contaminada (proveniente do sistema – por exemplo, do fundo do separador de líquido do regime de baixa pressão) e esta é injetada no estado líquido no regenerador;
- O controle da injeção é realizado por uma bóia de nível baixo (bóia de baixa). Enquanto o nível de líquido estiver abaixo da posição da bóia, a injeção é contínua;
- Quando o nível da bóia for atingido, a injeção é cessada e a válvula de bloqueio da linha de injeção de Amônia contaminada deve ser fechada. Deve-se observar que o processo ocorre em regime de batelada;
- Em seguida, é injetado gás quente na região encamisada do vaso, trocando calor com a Amônia contaminada no interior do vaso;
- O gás quente é resfriado e se condensa. O controle de condensado na camisa é realizado por uma bóia de nível alto (bóia de alta);
- Quando o condensado atinge o nível da bóia, ela abre, drenando o condensado para um vaso do sistema de menor pressão (ex. o separador de líquido);

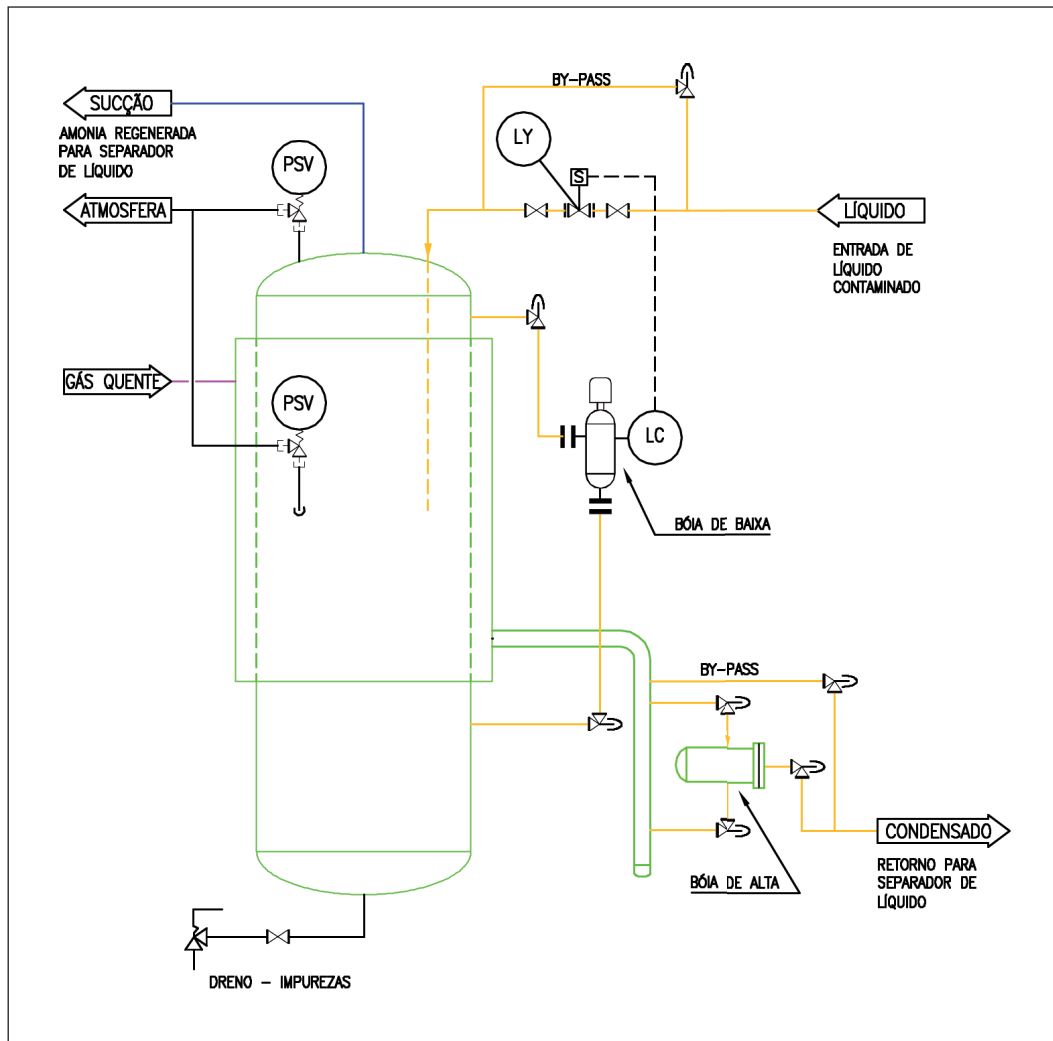


Figura 01 - Esquema de um Regenerador de Amônia utilizando Gás Quente

- Com a injeção de gás quente na camisa, a Amônia (da mistura água-Amônia contaminada) é evaporada e a água residual (juntamente com outra eventual impureza, incluindo óleo) permanece no vaso;
- Deve-se observar que é importante manter uma temperatura de evaporação máxima de 40°C no interior do vaso (pressão máxima de 14.5 bar g) para evitar a formação de espuma devido à presença de óleo, o que vai dificultar a evaporação da Amônia;
- Finalizada a evaporação de Amônia, cessa-se a injeção gás quente. Isso vai provocar uma queda de pressão no regenerador que tende a ficar na pressão do separador. Para evitar um eventual congelamento da água residual, recomenda-se que a válvula de saída de Amônia regenerada do vaso para o separador de líquido seja fechada com uma pressão não inferior a 3.3 bar g (com temperatura de evaporação em torno de 0.0°C);
- Após finalizado o processo, com todas as válvulas que ligam o regenerador ao sistema e à injeção de gás quente fechadas, inicia-se o processo de drenagem;
- Deve-se observar que o vaso ainda estará pressurizado e ainda haverá uma porcentagem de Amônia misturada na água. Portanto, a drenagem deverá ser realizada para um balde e o procedimento de drenagem deve ser o mesmo utilizado em um processo de drenagem de óleo de um coletor de óleo;
- Portanto, para a drenagem final é necessário um EPI específico que deverá incluir, luvas e uma máscara de proteção facial com filtro;
- Para a drenagem final, recomenda-se instalar uma válvula de dreno de fecho rápido (com retorno por mola) em série com a válvula de bloqueio do dreno, para garantir uma drenagem segura. Qualquer descontrole, basta soltar a válvula de fecho rápido que ela se fecha e bloqueia imediatamente o fluxo para o ambiente;
- O líquido drenado não poderá ser jogado na rede de esgoto, ou em qualquer lugar. Deverá ser neutralizado e enviado para um sistema de coleta adequado para resíduos contaminados.

## 6. Líquido enclausurado

O texto a seguir tem como base o **Bulletin 116 – 1992: Guidelines for: Avoiding Component Failure in Industrial Refrigeration Systems Caused by Abnormal Pressure or Shock [4]**, além das normas e “standards” de referência, onde aplicável.

### 6.1 Líquido enclausurado em linhas e/ou componentes

Líquido enclausurado é o preenchimento completo do volume interno de um elemento de contenção pressurizado, tal como um vaso de pressão ou trecho de tubulação, com o líquido refrigerante.

Enclausuramento de líquido em trechos de linhas (normalmente na linha de líquido), ou em algum equipamento (ex. serpentinas dos evaporadores), ocorre normalmente devido à manobras erradas durante o fechamento de válvulas para um serviço de manutenção.

Com o aumento da temperatura ocorre expansão térmica do líquido enclausurado, criando um aumento da pressão e, finalmente, causando o aumento do volume, ou até o rompimento do trecho isolado. Como exemplo, o aumento de volume de Amônia líquida a -40oC é em torno de 1% para cada incremento de 5oC na temperatura.

#### 6.1.1 Causas

**Líquido enclausurado** é na maioria das vezes causado pelo fechamento inadequado de válvulas manuais que “aprisionam” líquido em um trecho confinado. Isto pode ocorrer durante um procedimento de isolamento de um componente da linha de líquido do restante do sistema para manutenção. Exemplos disto incluem o enclausuramento do líquido entre duas válvulas manuais ou entre uma válvula de retenção e uma válvula de bloqueio manual. A expansão térmica do refrigerante líquido enclausurado causa um aumento da pressão, provocando um aumento do volume ou até mesmo a ruptura de um determinado componente, que pode perceptivelmente expandir antes da falha ocorrer.

## 6.1.2 Medidas preventivas

O ANSI/ASHRAE 15-2007 e a NBR 16069 (Item 9.4.3) estabelecem que “em um sistema onde as partes que contenham líquido e que este possa ficar enclausurado durante a operação ou manutenção e ainda sujeitas à pressão interna excessiva provocada, por exemplo, pela expansão decorrente do aumento da temperatura, deve ser utilizado um dispositivo de alívio de pressão hidrostática, para aliviar a pressão interna. A descarga do dispositivo de alívio de pressão deve ser para outra parte do sistema”.

Antes de efetuar qualquer serviço em uma válvula de controle ou outros componentes na linha de líquido, o líquido deverá ser removido de ambos os lados do dispositivo. Primeiramente, deve ser fechada a válvula manual de bloqueio no lado da entrada para remoção do líquido do componente e do lado à jusante (evacuado ou recolhido). Apenas depois é que se deve fechar a válvula da sucção ou do lado à jusante, isolando portanto o componente do sistema.

A seguir são apresentadas algumas sugestões para procedimentos operacionais com o propósito de evitar expansão térmica de líquidos enclausurados:

- Válvulas de balanceamento para ajuste de vazão em sistemas com líquido bombeado não devem ser fechadas em nenhum instante, incluindo no decorrer do start-up ou comissionamento. Estes sistemas normalmente possuem válvulas de retenção localizadas à montante da válvula de balanceamento na linha de líquido, na entrada do evaporador ou nas válvulas de expansão manuais.
- Deve-se remover todo líquido à jusante antes de isolar os reguladores de vazão de líquido que possuem válvula de retenção incorporada.
- Não se deve fechar válvulas “King” (válvula principal de um vaso) de operação manual em recipientes e vasos de pressão contendo líquido durante queda do fornecimento de energia. Isto irá enclausurar o líquido entre a válvula “King” e as diversas válvulas solenóides da linha de líquido dos evaporadores. Caso for utilizada uma válvula “King” solenóide, ela irá se fechar em caso de falta de energia, porém esta permite fluxo reverso em caso de expansão, evitando assim o enclausuramento de líquido.
- Caso ocorra uma queda de energia, alivie imediatamente a pressão excessiva causada pelo líquido enclausurado na linha de líquido principal abrindo manualmente as válvulas solenóides que tiveram a alimentação de energia



interrompidas. Se não houver um diferencial de pressão suficiente, é possível que a válvula não abra quando re-energizada. Além disso, a bobina pode queimar se a situação persistir por um tempo.

- Evacue todos os evaporadores antes de efetuar a limpeza por água quente ou vapor. Válvulas da saída para a sucção devem estar abertas durante o procedimento de limpeza.
- Nunca faça degelo em um evaporador cheio de líquido. É necessário fazer o todo recolhimento antes do início do degelo.
- Não feche as válvulas de bloqueio de um evaporador (isolando-o do restante da instalação) que estiver cheio de refrigerante líquido. Caso necessário, todo líquido deve ser recolhido do interior de evaporador antes deste ser isolado do restante da instalação. Um evaporador localizado em uma área fria pode levar várias horas para um esvaziamento completo do líquido.
- Seja cauteloso durante um desligamento prolongado do sistema de refrigeração, pois os componentes do lado de baixa pressão podem estar inundados com líquido. Durante o desligamento, o refrigerante irá migrar das regiões com temperaturas mais altas (do separador de líquido), através da linha de sucção, para o evaporador em áreas mais frias.

Quando os compressores estiverem desligados e os ventiladores dos evaporadores estiverem ligados, a taxa de migração irá preencher estes interiores com líquido condensado em um tempo muito curto.

Não feche totalmente todas as válvulas dos condensadores evaporativos durante operação em condições climáticas muito frias ou durante condições de baixa carga térmica (baixa capacidade) da instalação, pois podem estar cheios de líquidos. Se as válvulas dos condensadores estiverem totalmente fechadas nestas condições, um aumento da temperatura ambiente pode causar a ruptura das serpentinas dos condensadores.

## 6.2 Desaceleração súbita do líquido

Desaceleração Súbita do Líquido é uma rápida diminuição do escoamento do líquido em uma linha ou tubulação como resultado de um fechamento súbito de uma válvula. É também conhecido como choque hidráulico ou golpe de aríete.

### 6.2.1 Causas

A Desaceleração Súbita do Líquido pode ser causada pelo escoamento em uma linha de líquido que possui seu deslocamento interrompido pelo fechamento de uma válvula solenóide que atua instantaneamente. Contudo, as velocidades e pressões de projeto nas linhas de líquido dos sistemas bombeados são normalmente muito baixas para produzirem choques de qualquer significância.

### 6.2.2 Medidas preventivas

Para evitar este problema, recomenda-se o uso de válvulas solenóides que possuam um retardo de fechamento por volta de um segundo. Válvulas que possuem dispositivos de retardo propiciam este atraso e são disponíveis no mercado.

A alimentação de líquido a alta pressão, tanto para um vaso de baixa pressão ou em um evaporador de expansão direta, deve ter uma válvula solenóide instalada o mais próximo possível do dispositivo de injeção de líquido e bem junto ao vaso ou evaporador.

Caso contrario, quando a solenóide fechar, a linha à jusante será esvaziada, e ao reabrir, líquido a alta pressão irá rapidamente preencher a linha causando um choque de desaceleração súbita de líquido no dispositivo de injeção. Isto pode acontecer com maior frequência em sistemas com linha de líquido subresfriada (ex. após um “economiser” ou um resfriador intermediário com serpentina de resfriamento) antes da válvula solenóide.

## 6.3 Propulsão de líquido pelo vapor

Propulsão de líquido pelo vapor é o movimento de líquido refrigerante propulsionado ou propelido em alta velocidade por um fluxo de vapor a alta pressão nas linhas de gás quente e de sucção. É também conhecido como choque hidráulico, golpe de líquido ou “surge”.

A maioria dos relatos de problemas envolvendo **Propulsão de Líquido pelo Vapor** ocorre em sistemas de baixa temperatura operando abaixo de  $-30^{\circ}\text{C}$ , utilizando sistema de líquido bombeado e degelo através de gás quente. Problemas semelhantes têm

ocorrido também em sistemas com degelo com água. Técnicas de degelo por ar, por resistência elétrica ou spray de glicol, tendem a ser menos agressivas em comparação ao degelo por gás quente em evaporadores com baixas temperaturas.

### 6.3.1 Causas

A propulsão de líquido pelo vapor pode ser causada pela súbita liberação de vapor a alta pressão, tal como gás quente, para uma linha que está parcialmente preenchida com líquido. Dois exemplos seriam:

- i. Uma linha de gás quente contendo algum líquido condensado utilizada para degelo em um ou mais evaporadores; ou
- ii. A liberação súbita de fluxo bi-fásico (líquido e vapor) pressurizado de um evaporador (que passou por degelo) para a linha de sucção úmida enclausurada ou de inclinação incorreta.

Pelo fato de súbitas liberações de gás poderem alcançar velocidades de 30 m/s, a pressão de impacto resultante produzida por uma bolha de líquido pode exceder 20000 kPa (2000 bar).

Choques anormais em um sistema causado por propulsão de líquido pelo vapor são acompanhados por sintomas externos, incluindo:

- Ruídos intensos como pancadas e batidas,
- Deslocamento da tubulação e movimentação dos evaporadores,
- Desprendimento do isolamento térmico da tubulação;
- Vazamentos podem aparecer.

Se o primeiro choque não causar um vazamento ou ruptura, choques repetidos podem eventualmente levar a uma falha maior.

### 6.3.2 Medidas preventivas

Uma mudança súbita na pressão, que é característica no ciclo de degelo com gás quente, é a causa básica da maioria dos problemas de Propulsão de Líquido pelo Vapor. É importante que a pressão seja introduzida gradualmente ao evaporador no início do degelo e que seja feita uma drenagem gradual no término do degelo.

Deverão ser utilizadas válvulas de abertura gradual ou lenta, ou um grupo de válvulas, para a introduzir pressão de gás quente no evaporador que passará pelo degelo. Após o degelo, é necessário diminuir gradualmente a pressão do evaporador antes de iniciar a abertura da válvula de sucção principal. Isto pode ser feito normalmente com a instalação de uma pequena válvula de “bypass” da válvula de sucção principal, com regulação de pressão.

### 6.3.2.1 Líquido em linhas de gás quente

O modo mais comum para fazer o degelo de evaporadores de sistemas de refrigeração industrial é pelo uso de gás quente. Contudo, a falta de cuidado em lidar com o gás quente pode provocar problemas com o Líquido Propelido pelo Vapor e seus possíveis danos. O problema mais significativo está na condensação do líquido no interior da linha de gás quente.

Quando for necessário o degelo, a válvula de gás quente se abre e vapor a alta pressão rapidamente escoar ao longo da linha. O escoamento em alta velocidade do vapor irá carregar qualquer porção de líquido ao longo de seu caminho, empurrando-o à frente do vapor até este ser parado.

Testes de laboratório, que reproduzem arrastes de bolha de líquido a alta velocidade na linha de gás quente, demonstraram que é possível desenvolver pressões que excedam a 14000 kPa (140 bar). Estas pressões podem destruir “caps” da tubulação e romper coletores/distribuidores de líquido de serpentinas evaporadoras sem uma deformação previa. Falhas desta natureza já foram verificadas em diversas instalações.

Ao usar gás quente para degelo, é importante que a parcela de líquido condensado na linha de gás quente seja previamente removida, ou melhor, deve-se evitar a condensação na linha de gás quente.

### 6.3.2.2 Início do degelo por gás quente

O risco de ocorrer um choque é grande no início de um degelo por gás quente, quando o evaporador subitamente se transforma em um condensador. Pressões adversas ou choques podem ser evitados se a mudança na pressão acontecer de forma gradual. Isto é particularmente importante caso exista um excesso de líquido no evaporador, ou no caso deste estar completamente preenchido por líquido.

Se o gás quente de entrada no evaporador contém uma parcela de líquido que foi condensado na linha de gás quente e não foi removido previamente, o efeito do choque da Propulsão de Líquido pelo Vapor pode se tornar muito destrutivo para a serpentina do evaporador; os “caps” dos coletores podem estourar, ou os coletores e as curvas em “U” da serpentina podem se romper (se rachar). A ruptura normalmente ocorre na longitudinal (ao longo do tubo).

Se o evaporador estiver cheio de líquido, resultante de uma operação prolongada em baixa carga térmica, o golpe de líquido pode criar uma onda de compressão sobre o líquido estacionário produzindo pressões na faixa de 7000 a 14000 kPa (70 a 140 bar), resultando em danos severos. Portanto, é importante manter a pressão do gás quente o mais baixo possível, consistente com os requisitos de degelo e da própria instalação.

O recolhimento completo, antes do degelo, de todos evaporadores é o ideal, mas é essencial que o recolhimento seja feito à baixa temperatura. O tempo estimado para fazer o recolhimento é de 10 a 15 minutos, mas pode se estender dependendo do tipo do evaporador e da condição de carga. O recolhimento deverá ser feito inicialmente através do fechamento da válvula de solenóide da linha de líquido, mantendo-se os ventiladores em operação e a válvula de retorno para a sucção aberta.

O evaporador mais vulnerável às ações da Propulsão de Líquido pelo Vapor é aquele que opera com sistema bombeado, em baixa temperatura, que não tenha passado pelo processo de recolhimento, que esteja cheio de líquido e é alimentado por uma linha de gás quente da qual o líquido condensado não tenha sido previamente removido. Algumas razões desta vulnerabilidade são:

- A diferença entre a pressão de alimentação de gás quente e a pressão de sucção é maior em sistemas de baixa temperatura, criando uma força motriz maior em qualquer porção de Líquido Propelido por Vapor. Isto é verdade tanto para o degelo quanto para a volta em operação;
- Tubulações e evaporadores são maiores e mais frios. Mais gás quente é necessário para fazer o degelo, resultando em maiores válvulas de controle e tubulações;
- Os sistemas bombeados podem preencher completamente com líquido o evaporador durante uma operação de baixa carga térmica ou em condições de operação com intensa formação de gelo sobre a serpentina (quando esta estará com baixa eficiência/ capacidade).

Em caso de túneis de congelamento operando em sistema com compressores em “Booster”, com o dispositivo de alívio do retorno do degelo para a sucção do lado de baixa temperatura (ex. -40°C), a capacidade total do degelo por ciclo não deve exceder à 30% da capacidade dos compressores de baixa (em “Booster”).

Caso este limite não seja observado, a pressão de sucção do lado de baixa se elevará, de modo que a temperatura de evaporação nos demais evaporadores do sistema (em operação normal) ficará acima da temperatura do ar das respectivas câmaras ou do túneis em operação. Com isso, estas serpentinas se encherão de líquido, pois não haverá mais transferência de calor na serpentina.

Neste caso, é essencial não iniciar imediatamente o ciclo de degelo nestas serpentinas inundadas, mas após bom tempo depois que as condições normais foram atingidas.

### 6.3.2.3 Final do degelo por gás quente

Assim como no início do degelo, o risco de ocorrer um choque é também intenso no final do degelo, no instante em que o “condensador do degelo” subitamente retorna à sua condição de evaporador. A equalização de pressão (com a pressão de sucção do sistema) deve ser gradual, pois há líquido presente na serpentina e nas linhas de retorno para o separador de líquido central.

A equalização gradual da pressão de degelo com a pressão da linha de retorno é igualmente importante em evaporadores inundados ou em sistemas bombeados. Recomenda-se, para sistemas inundados, a utilização de um regulador de alívio do degelo com um dispositivo de ampla abertura, acionado através de um piloto solenóide, para despressurizar o evaporador.

Grandes evaporadores operando em baixas temperaturas devem ser despressurizados lentamente, antes que a válvula de bloqueio automática principal na linha de sucção seja acionada. Esta função é vital. Para assegurar que os evaporadores estão completamente esvaziados ao final do degelo, recomenda-se ainda uma pequena válvula solenóide de equalização como “by-pass” da válvula de bloqueio principal da sucção.

Em sistemas de refrigeração de múltiplos regimes, o alívio do degelo deve ser realizado sempre para uma pressão intermediária, com uma válvula de retenção na saída do dispositivo de alívio (para evitar fluxo reverso quando o evaporador estiver

operando em condição normal). Neste caso, deve-se observar que não é possível realizar a equalização final através do dispositivo regulador de alívio de degelo (interligado à linha com pressão intermediária) e a válvula solenóide de equalização descrita anteriormente, se torna absolutamente necessária.

Em sistemas de líquido bombeado, o líquido tende a ficar enclausurado em qualquer região inferior da linha de sucção. Se a Amônia no evaporador, ainda na pressão de degelo, for subitamente liberada para a linha de sucção, o líquido enclausurado será arrastado pelo vapor a alta velocidade e propelido, criando forças intensas nos pontos de estagnação.

#### 6.3.2.4 Condições de carga leve ou sem carga

Evaporadores que possuem carga térmica constante são raros. Variações na produção, interrupção das linhas de alimentação de produto para o interior de túneis e câmaras, mudanças na temperatura externa, ciclagem dos ventiladores dos evaporadores na pressão de sucção, são todos eventos comuns que mudam a capacidade atual do evaporador.

Além disso, se o degelo em um evaporador for incompleto, cada degelo subsequente deverá deixar mais e mais gelo na serpentina. A capacidade do evaporador irá diminuir continuamente devido ao efeito de “isolamento térmico” do gelo.

Nessas condições, a quantidade de líquido no interior da serpentina irá aumentar. Assim, é possível que um evaporador seja completamente preenchido com líquido enquanto estiver operando em condições de baixa carga térmica ou sem carga.

Se for iniciado o processo degelo por gás quente em um evaporador de um sistema bombeado, que esteja operando em condições de baixa capacidade por um longo período, o evaporador estará muito vulnerável a choques devido à Propulsão de Líquido pelo Vapor. As recomendações a seguir são para evitar tais choques:

- Nunca faça o degelo de um evaporador que esteja completamente preenchido por líquido;
- Realize um recolhimento adequado antes de iniciar um ciclo de degelo;
- Feche a alimentação de líquido do evaporador (através do fechamento da válvula solenóide da linha de líquido) sempre que os ventiladores estiverem desligados (em evaporadores com ventiladores operando em ciclos);

- Nunca utilize a válvula de retenção como elemento de bloqueio da alimentação de líquido no evaporador; utilize sempre uma válvula solenóide antes da válvula de retenção.
- Em caso de falha na válvula solenóide de alimentação de líquido, não se deve realizar o processo de degelo no evaporador até que a válvua seja reparada/ substituída.
- Utilize um termostato de ambiente, preferencialmente com o sensor instalado no retorno de ar para o evaporador, para identificar condições de baixa carga térmica e fechar a válvula solenóide da linha de líquido.

**CUIDADO:** Quando o compressor está desligado e os ventiladores de um evaporador de um freezer estiverem ligados, por migração, a serpentina pode rapidamente se encher de líquido.

### 6.3.2.5 Sintomas de condições anormais de operação

Não é fácil reproduzir uma situação de pressão anormal ou de choque hidráulico durante as condições de operação normais porque estes incidentes freqüentemente ocorrem apenas durante períodos de baixa carga térmica como em horário noturno, final de semana ou feriados. Contudo, os sons produzidos por um sistema de refrigeração são muitas vezes um fator importante para determinar se o sistema está operando de modo adequado ou não. A audição do operador do sistema deve ser constantemente treinada para reconhecer as diferenças entre sons normais e adversos.

Por exemplo, os sons produzidos por um evaporador ao ser submetido ao processo de degelo por gás quente devem ser mínimos. Ruídos intensos de diferentes formas são considerados anormais e o operador deve ser capaz de reconhecer estes sons e tomar ações para eliminar as causas.

Os picos extremamente altos de pressão criados pela Desaceleração Súbita de Líquido ou pela Propulsão de Líquido pelo Vapor são tão breves que válvulas de alívio ou reguladores não serão capazes de responder rápido o suficiente para fazer qualquer diferença. Contudo, agulhas dos manômetros de pressão se movem e emperram além do fundo de escala e permanecem nesta posição. Agulhas de manômetros emperrados podem indicar a ocorrência de pressões anormais excessivas naquele ponto do sistema. Flanges com parafusos que precisam de constantes reapertos podem indicar também a presença de pressões excessivas.



Cuidados devem ser tomados para assegurar procedimentos adequados de degelo e o manuseio correto das válvulas para prevenir pressões adversas ou falhas por choques. Sempre que for ouvido algum som incomum ou a tubulação vibrar, o operador deve suspeitar de condições anormais existentes e do risco de falha de algum componente. A inspeção das pressões no sistema e avaliação de sons em todos os evaporadores durante o processo de degelo deve se tornar uma parte rotineira da manutenção.



# 7. Modificações em sistemas existentes

Modificações em sistemas existentes de refrigeração por Amônia requerem um planejamento específico desde o projeto, de forma a permitir que na ocasião da modificação sejam aplicados os procedimentos apropriados e seguros.

O texto a seguir trata dos aspectos operacionais abordados pelo **Bulletin 107 – 1997: Guidelines for Suggested Safety and Operating Procedures when Making Refrigeration Plant Tie-Ins [4]**.

Para instalação de válvulas de espera (“Tie-ins”) para modificações em sistemas existentes, recomenda-se os seguintes procedimentos operacionais:

## 7.1 Recolhimento de Amônia

43

### 7.1.1 Preparativos para o recolhimento

Inicialmente, reduza a pressão interna do sistema e dos equipamentos para a pressão atmosférica antes que qualquer modificação no sistema possa ser iniciada.

Prepare o equipamento necessário para o procedimento de recolhimento. Verifique se todos os EPIs (equipamentos de proteção individual) estão em condições adequadas para o uso. Considere os seguintes itens, quando aplicáveis:

- Verifique a disponibilidade e certifique que os EPIs estão prontos para o uso. Selecione a proteção respiratória apropriada para caso de emergência, conforme descrito no capítulo 4.0;
- Providencie óculos de proteção, luvas e máscaras panorâmicas de proteção facial com filtro, para todos os envolvidos no manuseio de Amônia;
- Mangueiras de água;
- Equipamento de ventilação portátil;
- Extintores de incêndio;
- Vestimenta de proteção adequada para as operações;

- Rádio portátil de comunicação;
- Disponibilidade da brigada de emergência devidamente treinada.

Todos os membros da equipe envolvidos no trabalho devem estar devidamente treinados na utilização dos EPIs necessários.

Revise com a equipe os procedimentos de recolhimento e de modificação da linha de Amônia. Além disso, reveja o Plano de Ação de Emergência, assegurando que todos os envolvidos saibam o que fazer no caso de uma situação de emergência.

Identifique as válvulas, tubulações e equipamentos conectados ao sistema que serão desconectados ou bloqueados. Utilize os procedimentos de travamento das válvulas de bloqueio com cadeado e placas de identificação de posição (“Lockout” e “Tagout”) ao isolar qualquer equipamento ou porção do sistema. Tenha cuidado para não isolar qualquer parte da tubulação do restante do sistema ou equipamento que possa conter a Amônia líquida enclausurada. Não force a abertura ou fechamento das válvulas.

### 7.1.2 Procedimento de recolhimento

Para o recolhimento utilize os seguintes procedimentos:

- a. Monitore as pressões e temperaturas durante o processo de recolhimento;
- b. Bloqueie a alimentação de líquido na parte do sistema onde a modificação deverá ser feita;
- c. Continue operando os evaporadores para facilitar a evaporação do refrigerante;
- d. Utilize um manômetro com mostrador de -100 a 1000 kPa g (-1.0 a 10.0 bar g), conectado ao equipamento ou parte do sistema que for esvaziada.
  - i. Faça o recolhimento até que a pressão esteja abaixo de 0 kPa g e (se apropriado) diminua a pressão interna até -50 ou -60 kPa g (-0.5 a -0.6 bar g). Deixe o compressor utilizado para o recolhimento continuar operando até que ocorram várias quedas por baixa pressão. Um aumento da pressão pode indicar que o recolhimento ainda está incompleto.
  - ii. Deixe o sistema permanecer nestas condições por várias horas, a noite inteira se possível. Isto permitirá que o líquido refrigerante vaporize.

- iii. Qualquer sinal de congelamento em tubulações ou válvulas sem isolamento térmico pode indicar a presença de Amônia líquida. Se esta condição persistir após várias tentativas de esvaziamento, deve-se verificar se está ocorrendo vazamento interno (passagem) pelas válvulas de bloqueio.
- e. Após o processo de recolhimento, a pressão deve ser ajustada para próximo de 0.0 kPa g antes de que qualquer abertura ou corte seja feito no componente. Não é recomendável que se tenha um vácuo profundo quando o sistema está prestes a ser cortado, pois ar, óleo residual e Amônia podem formar uma mistura explosiva. Recomenda-se a utilização de nitrogênio seco para aumentar a pressão a um valor um pouco acima de 0.0 kPa g.

### **7.1.3 Procedimento de recolhimento quando o volume do reservatório de Amônia for inadequado**

Se o reservatório de Amônia do sistema não possuir volume suficiente para o recolhimento de líquido dos equipamentos e respectivas tubulações que serão esvaziados para a modificação, torna-se necessário a transferência de Amônia para tanques externos de armazenamentos temporários ou para caminhão tanque.

Desenvolva procedimentos bem documentados para a transferência segura da Amônia do sistema para o tanque externo. Considerar os seguintes principais pontos:

- a. Todo membro da equipe envolvida deve utilizar EPIs adequados: proteção respiratória adequada, luvas de proteção, botas de proteção, óculos de proteção;
- b. Montar uma barreira para o isolamento da área, proibindo o acesso de pessoas não autorizadas enquanto a transferência ocorrer;
- c. Efetuar a inspeção visual e o teste de pressão em todas mangueiras de transferência e conexões. Utilize apenas mangueiras e conexões apropriadas para transferência de Amônia pressurizada;
- d. Deverá existir um chuveiro e lava-olhos, permanente ou portátil, disponível na área de transferência (dentro dos limites da área isolada);
- e. Estabeleça uma rota de fuga caso ocorra uma liberação descontrolada de Amônia;

- f. Nunca deixe o processo de transferência sem supervisão. Monitore as temperaturas e pressões durante processo de recolhimento e transferência.

## 7.2 Instalação do ponto de espera (“tie-in”)

O isolamento térmico deve ser removido da proximidade do ponto de espera (“tie-in”). Recomenda-se uma remoção de aproximadamente um metro de cada lado do ponto onde será instalado o “tie-in”.

Seguir os procedimentos de permissão de trabalho a quente antes de efetuar os cortes, queimas ou soldas. Utilize EPI apropriado, mesmo que se acredite que a linha esteja toda vazia. Nunca assuma que uma linha esteja toda vazia de água, óleo ou Amônia residual.

Ventiladores portáteis são úteis para dispersão dos vapores para fora da área de trabalho.

Tenha todos os materiais prontos. A válvula de espera a ser instalada no “tie-in” deverá ter uma seção de tubulação de pelo menos 300 mm conectada após a válvula.

Introduza um fluxo lento de nitrogênio seco no trecho do sistema que foi isolado para a modificação, deixando que a pressão escape por uma pequena válvula de alívio localizada na ponta oposta da seção da tubulação. Não utilize ar ao invés de nitrogênio. Deverá haver uma pequena pressão positiva de nitrogênio no sistema durante o trabalho a quente. Caso nitrogênio não estiver disponível, não use ar comprimido. Abra uma válvula para a atmosfera para que a pressão interna permaneça próxima da atmosférica.

O trabalho de corte e solda deve ser feito por profissionais (soldadores) qualificados e experientes.

## 7.3 Testes

Para um teste inicial, introduza nitrogênio anidro na seção nova do sistema. Faça os testes para descobrir a presença de vazamento na pressão especificada pelo projeto ou pelas normas aplicáveis. O teste para encontrar vazamentos pontuais deve ser feito utilizando uma solução contendo sabão.

Mantenha a pressão por 24 horas quando possível. Se a pressão diminuir mais que 30 kPa (0.3 bar – compensando para as mudanças de temperatura externa que possam ocorrer), faça uma nova avaliação do sistema para encontrar os vazamentos. Faça a reparação de todos os vazamentos e teste novamente se necessário.

Após o teste de pressão do sistema, alivie a pressão e pressurize novamente com Amônia até se atingir aproximadamente 200 kPa g (2 bar g). Logo em seguida eleve a pressão do sistema para pelo menos 700 kPa g (7 bar g) utilizando nitrogênio seco. Faça um último teste para vazamentos utilizando um detector eletrônico de Amônia (portátil), papel tornassol (indicador de pH) ou pavio de enxofre. Onde a utilização de nitrogênio anidro se torna inviável, utilize apenas a Amônia para o teste de vazamento.

Após os testes de pressão e vazamento tenham sido finalizados e documentados, libere a mistura de Amônia e nitrogênio de acordo com as normas aplicáveis. Remova todas as etiquetas de “Lockout” e “Tagout”.

## 7.4 Início de operação após a modificação

47

Antes de integrar a parte nova ao sistema existente, deve-se realizar a purga dos gases incondensáveis.

Após os testes, a parte adicionada já deve estar em torno de 0 kPa g. Caso não esteja, faça a purga da pressão remanescente.

- a. Esvazie o sistema utilizando uma bomba de vácuo apropriada para Amônia. O vácuo não deve ser feito com a utilização de compressores do sistema. Caso esteja disponível, faça o uso de bombas absorvedoras de Amônia;
- b. Antes de integrar a parte nova ao sistema existente, coloque plaquetas de identificação nas novas tubulações, válvulas e equipamentos.

Os novos equipamentos devem ser integrados ao sistema numa ordem lógica e seqüencial para não sobrecarregar a capacidade do sistema.

Ajuste com cautela a pressão de sucção do sistema. Monitore o efeito no sistema original. Ajuste e calibre os novos controles instalados.

Ao iniciar as atividades de novos equipamentos de processo, diminua gradativamente a temperatura a fim de não criar choque térmico excessivo no equipamento. Siga as recomendações do fabricante.

Para novas câmaras ou túneis de congelamento adicionados ao sistema, diminua a temperatura do ambiente de acordo com as seguintes recomendações, ou siga as diretrizes dos fornecedores do material dos painéis isolantes das câmaras:

- a. Manter as portas entreabertas para evitar danos à instalação por pressão negativa.
- b. Fase I – Até +2°C. Diminua a temperatura com o seguinte cronograma.

Tempo	Máxima redução de temperatura	Mínima temperatura da câmara
24 Horas	5°C	24°C
24 Horas	8°C	16°C
24 Horas	8°C	8°C
24 Horas	3°C	5°C
24 Horas	3°C	2°C

- c. Deve-se manter a temperatura em +2°C em câmaras que irão operar abaixo do ponto de congelamento até se atingir o ponto de orvalho de -18°C (com temperatura bulbo seco de 2°C, e de bulbo úmido de -3.6°C).
- d. Permita que os evaporadores realizem pelo menos dois (2) ciclos de degelo e não inicie a fase II até que as serpentinas se mantenham secas por pelo menos 24 horas ou um ponto de orvalho de -18°C tenha sido alcançado.
- e. Fase II – Utilize o seguinte cronograma para a redução da temperatura ambiente da câmara até a temperatura de operação:

Tempo	Máxima redução de temperatura	Mínima temperatura do ambiente
24 Horas	3°C	-1°C
24 Horas	6°C	-7°C
24 Horas	6°C	-12°C
24 Horas	6°C	-18°C
24 Horas	6°C	-24°C
24 Horas	6°C	-30°C



A cada 3 dias (durante algumas semanas), refaça a inspeção da seção nova e em todos os equipamentos adicionados ao sistema para procurar possíveis vazamentos.

Completar todas as medidas de gestão da modificação previstas no Programa de Gerenciamento de Riscos, incluindo a documentação de projeto “as-built” e todo treinamento necessário à equipe de operação sobre as alterações do sistema. Recomenda-se também executar uma auditoria de integridade mecânica de todo equipamento novo, tubulação, vasos, etc.



## 8. Procedimentos de operação e manutenção em instalações de Amônia

Segurança é um dos elementos mais importantes no conceito de uma instalação de refrigeração, desde o projeto até a sua operação. A idéia arcaica de que segurança significa mais custo e que é sinônimo de problemas deve ser banida, não apenas do pensamento de empreendedores, mas também dos fornecedores quando fornecem um escopo falho no quesito segurança na tentativa de conseguir um “melhor preço”. Nos últimos 30 anos, principalmente as indústrias químicas, têm provado que investir em segurança não é simplesmente diminuir o risco de acidentes envolvendo o elemento humano (o que em si só deveria ser a coisa mais importante, pois não há nada mais precioso que uma vida). As vantagens vão muito além, começando com o aumento da confiabilidade operacional, a diminuição de paradas desnecessárias, a diminuição de avarias e quebras de equipamentos, menores custos de operação e manutenção, além da conservação da imagem da empresa.

Mas não apenas o investimento em equipamentos e dispositivos de segurança torna a instalação mais segura. Em estudos de análise quantitativa de riscos, a probabilidade de falha humana é de 1 em 100, um índice muito alto que pode até inviabilizar um projeto devido ao nível de risco inerente à uma determinada operação. É importante ainda salientar que, em casos de acidente por falha humana, a responsabilidade sempre é da direção da empresa e não do operador envolvido, pois cabe a ela contratar e capacitar com treinamento os operadores, de modo que estes estejam sempre conscientes da sua responsabilidade em qualquer atividade operacional que possa trazer risco de acidente.

Assim, os procedimentos operacionais adequados podem ajudar em muito na capacitação dos operadores e na diminuição dos riscos, em caso de operações que possam expor os operadores ou a instalação, a um possível acidente. Um resultado claro é que quando há um procedimento escrito sobre determinada operação, nas análises de risco a probabilidade cai para 1 em 10000 pelo menos. Além disso o procedimento instrui o operador com padrões a serem seguidos, os quais tornarão a operação mais confiável.

Para elaboração de tais procedimentos é importante o compromisso da empresa e dos operadores envolvidos. Para se iniciar os trabalhos é necessário a formação de um grupo de trabalho envolvendo a direção/gerência, supervisores de operação e manutenção, operadores experientes e membros da equipe de segurança operacional.

Recomenda-se também o envolvimento de um consultor externo para analisar os passos e identificar possíveis falhas nos procedimentos, além de avaliar a necessidade de se instalar dispositivos de segurança faltantes ou substituir outros instalados incorretamente no sistema. É importante observar que o trabalho deve ser desenvolvido pelo grupo.

Finalmente, todo este material a ser desenvolvido de nada valerá se não for implementado e seguido no dia a dia, pois não é o documento e sim a consciência e a responsabilidade é que vão fazer diferença.

Alguns dos procedimentos operacionais a serem desenvolvidos são:

- Procedimento de drenagem de óleo acumulado em vaso de pressão.
- Procedimento de recolhimento de Amônia de vaso de pressão ou trecho do sistema.
- Procedimento de esvaziamento total de vaso de pressão ou trecho do sistema para manutenção.
- Procedimentos para testes e inspeção de condensadores evaporativos.
- Procedimentos de vácuo em componentes ou trechos do sistema.
- Procedimentos de preparação para exame interno em vasos de pressão, conforme os requisitos da NR-13.
- Procedimento de carga de reposição de Amônia.
- Procedimento de carga de óleo nos compressores.
- Procedimento de calibração da instrumentação de campo (incluindo manômetros, sensores de pressão e de temperatura dos painéis microprocessados dos equipamentos, sensores de nível eletrônicos entre outros).
- Procedimento sobre a manutenção geral do sistema.

Em alguns procedimentos, para cada tipo de componente ou trecho do sistema haverá particularidades de modo que será necessário um procedimento específico para cada componente. Nesses casos, recomenda-se utilizar os “TAGs” das válvulas e dos

demais elementos envolvidos na operação como referência na descrição das manobras a serem realizadas durante o procedimento (ver exemplo no item 8.1).

A seguir alguns procedimentos típicos de algumas operações conhecidas, desenvolvidos para uma determinada instalação e que podem servir de guia inicial para a elaboração de procedimentos adequados para outras instalações. Os mesmos não devem ser utilizados na íntegra, sem avaliação prévia, pois cada instalação possui suas particularidades.

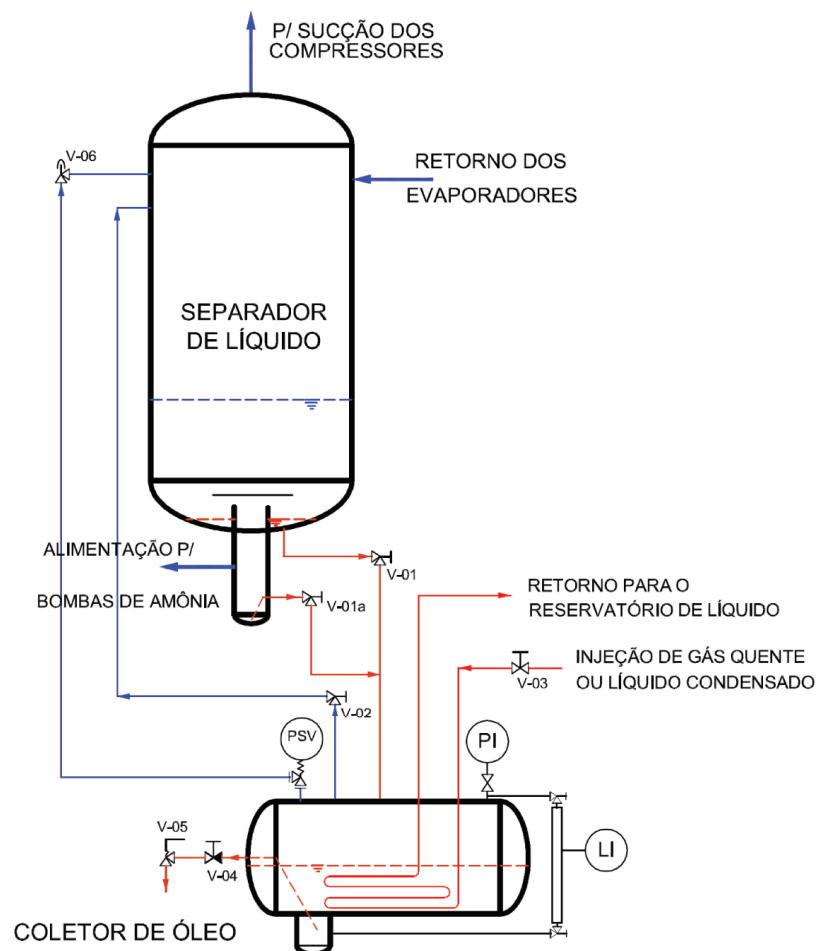
## **8.1 Procedimento de drenagem de óleo acumulado em vaso de pressão (em sistemas corretamente projetados)**

Inicialmente, por que “em sistemas corretamente projetados?”

A grande maioria dos vasos de pressão não possuem o recipiente específico para drenagem de óleo – o coletor de óleo – e sim apenas uma conexão no fundo do vaso e uma válvula simples de bloqueio manual. Isto já caracteriza uma falta de segurança muito grande em uma das operações mais corriqueiras em sistemas com Amônia. Existe uma série de riscos envolvidos nesta operação com históricos catastróficos em todo o mundo (inclusive no Brasil).

Portanto, antes de continuar na elaboração dos procedimentos verifique se sua instalação não precisa inicialmente ser adequada a um nível mínimo de padrão de segurança. O apêndice “A”, traz algumas recomendações sobre um projeto adequado de um sistema de drenagem de óleo.

A Figura 02 mostra um esquema de como deveria ser construído um recipiente para drenagem de óleo (coletor de óleo) junto aos vasos de pressão da instalação para uma operação correta.



**Figura 02** – Esquema do Separador de Líquido e Coletor de Óleo para Drenagem.

A seguir, a descrição do procedimento:

1. Obter autorização do supervisor de manutenção para a realização do serviço através de permissão de trabalho.
2. Isolar a área proibindo a circulação de pessoas não autorizadas para o serviço.
3. Realizar o serviço em equipe de pelo menos 02 pessoas.
4. Prover água em abundância no local (mangueira com água corrente).

5. Utilizar plaquetas de identificação para a posição de abertura das válvulas durante o procedimento.
6. Utilizar EPI adequado para o serviço (pelo menos botas, luvas e máscara panorâmica com filtro adequado).
  - 6.1. O operador deve estar treinado em utilizar o EPI;
  - 6.2. O operador deve verificar se o EPI encontra-se dentro do prazo de validade;
  - 6.3. Todo EPI deve ser testado pelo operador antes do seu uso.
7. Verificar se todas as válvulas de bloqueio do coletor de óleo estão bloqueadas. Ao contrário do que normalmente se verifica em instalações com o vaso coletor de óleo, o mesmo deve permanecer vazio e só deverá ser aberto quando for realizada a operação de drenagem de óleo.
8. Verificar se o coletor de óleo está vazio
  - 8.1 Abrir 1/2 volta a válvula de bloqueio V-04
  - 8.2 Abrir a válvula de dreno V-05, mantendo a V-04 aberta na posição. Para a válvula de dreno (V-05), recomenda-se a instalação de uma válvula manual de fechamento rápido (com retorno automático por mola), em série com uma válvula combinada de bloqueio e retenção (V-04). A válvula de dreno com fechamento rápido é essencial para certificar-se que sempre haverá um operador no local durante a operação.
  - 8.3 Caso o vaso não esteja vazio, deverá ser anotado o evento para verificação posterior de prováveis falhas de bloqueio das outras válvulas (passagem).
9. Fechar a válvula V-04 e em seguida a V-05.
10. Verificar a funcionalidade das duas válvulas de dreno:
  - 10.1 Abrir a válvula V-02 de equalização de vapor do coletor com o vaso principal (ex. separador de líquido ou o vaso onde o coletor de óleo estiver conectado);
  - 10.2 Abrir a válvula V-01 por cerca de 15 s e logo em seguida voltar a fechá-la. O vaso receberá uma pequena carga de óleo;
  - 10.3 Caso o vaso principal opere a uma pressão abaixo da atmosférica, abrir a válvula V-03 para injeção de gás quente na serpentina de aquecimento para elevar a pressão no coletor de óleo;

- 10.4 Com pressão positiva no coletor de óleo, abrir a válvula V-04 em 1/2 volta e em seguida fechar a mesma;
- 10.5 Abrir a válvula de dreno V-05, mantendo a V-04 fechada. Caso sair um pequeno jato de Amônia vapor e em seguida cessar o vazamento, as duas válvulas estão operando normalmente. Caso a Amônia continue a sair, conclui-se que a válvula V-04 está permitindo passagem. A operação deverá ser interrompida e a válvula V-04 deverá ser substituída;
- 10.6 Fechar as válvulas de dreno.
11. Iniciar o processo de drenagem do vaso principal para o coletor de óleo abrindo a válvula de bloqueio V-02 para interligar o coletor de óleo com a parte superior do vaso principal (zona de vapor). A válvula V-02 deverá permanecer aberta.
  12. Abrir a válvula de bloqueio V-01 (e/ou a V-01a) para drenagem de óleo do vaso principal para o coletor de óleo.
  13. Quando o nível de líquido no coletor de óleo ultrapassar ~75% do nível do indicador de nível (LI), fechar a válvula V-01 (e/ou a V-01a).
  14. Abrir a válvula V-03, para injeção de gás quente na serpentina de aquecimento do coletor de óleo para evaporação da Amônia contida no óleo do coletor. O tempo de evaporação pode variar em função da quantidade de Amônia dentro do coletor. O final do borbulhamento no indicador de nível é um indício que a Amônia se evaporou. Ao final da evaporação, a parede externa do coletor de óleo estará próxima à temperatura ambiente.
  15. Finalizada a evaporação, fechar a válvula V-03.
  16. Após fechada a válvula V-03, fechar a válvula V-02.
  17. Antes de abrir as válvulas de drenagem de óleo para a atmosfera, certifique que a pressão no coletor de óleo está positiva. Caso necessário, abrir novamente a válvula V-03, apenas para pressurizar o coletor de óleo.
  18. Iniciar a drenagem do óleo do coletor para um recipiente externo abrindo parcialmente a válvula V-04 e em seguida a válvula V-05.
  19. Controlar o fluxo de óleo para o recipiente externo através da regulagem da válvula V-04, mantendo a V-05 sempre aberta. Evitar abrir mais de 02 voltas a válvula V-04.
  20. Para a drenagem, utilizar um recipiente translúcido com ampla abertura no topo (ex. balde de plástico).



21. Drenar todo o óleo do recipiente até se certificar que o coletor está despressurizado.
22. Fechar as válvulas V-05 e V-04.
23. Drenar o restolho de óleo/Amônia que ficou na linha entre as válvulas V-04 e V-05, abrindo momentaneamente a V-05.
24. Deixar o recipiente com óleo drenado em descanso para evaporação da Amônia residual e anotar na folha de dados do equipamento o volume e a qualidade do óleo drenado.
25. Recolher o óleo drenado para um tanque de armazenagem de óleo. Usar luvas e máscara. Não jogue o óleo diretamente no esgoto. O óleo deve ser enviado a um sistema de coleta e reciclagem específico, conforme a legislação local.

## 8.2 Procedimento de drenagem de óleo acumulado em vaso de pressão (em sistemas com projeto inadequado)

57

Se o seu processo de drenagem de óleo é semelhante ao da Figura 03, então CUIDADO! Invista rapidamente (com um custo muito baixo) em um coletor de óleo adequado (veja o exemplo do item 8.1).



**Figura 03** – Procedimento de Drenagem de Óleo Totalmente Inadequado (L. Tomaz Cleto – Banco de Imagens – Arquivo Pessoal).

Enquanto isso não ocorre, a única maneira segura de realizar a drenagem de óleo é realizar um processo de recolhimento de Amônia de todo vaso e isolá-lo do restante do sistema. Esta operação será extremamente trabalhosa dependendo do tamanho do vaso principal a ser esvaziado e do volume de Amônia nele contido. Em alguns casos ela pode se tornar inviável, em função da operação contínua do vaso no sistema.

### **8.3 Procedimento de recolhimento de Amônia do reservatório de líquido (alta pressão), para manutenção do vaso**

1. Obter autorização do supervisor de manutenção para a realização do serviço através de permissão de trabalho.
2. Verificar quais os componentes do sistema de refrigeração serão afetados pelo recolhimento do tanque e prepará-los para o mesmo.
3. Caso o esvaziamento provoque parada no processo de fabricação (situação mais provável), o processo de fabricação deve ser paralisado primeiramente.
4. Durante a manutenção em um determinado setor toda área deverá ser isolada proibindo o acesso de qualquer pessoa não envolvida no procedimento.
5. Na primeira etapa do recolhimento, o líquido será transferido para o(s) separador(es) de líquido do lado de baixa pressão do sistema. Caso o volume disponível no(s) separador(es) de líquido do sistema seja menor que o volume de Amônia a ser recolhido do reservatório de líquido, recomenda-se o uso de um vaso externo (ex. um caminhão tanque) para o recolhimento.
6. Desligar os compressores de forma que apenas 01 permaneça operante.
7. Abrir a(s) válvula(s) de “by-pass” manual de injeção de líquido no(s) separador(es) de líquido ou evaporador(es) (Ex. “Shell & Tube”) para diminuição do nível de líquido no reservatório.
8. Monitorar a diminuição do nível no reservatório de líquido até o mínimo (~5%).
9. Monitorar o nível de líquido no(s) separador(es) de líquido, de modo a evitar nível alto no(s) mesmo(s).
10. Desligar o compressor em funcionamento.

11. Fechar totalmente a válvula de entrada de Amônia no reservatório de líquido.
12. Fechar as demais válvulas de bloqueio do vaso.
13. Aguardar a diminuição da pressão no reservatório, que tenderá a se equalizar com a pressão do lado de baixa.
14. Com a pressão estabilizada, fechar a válvula de bloqueio da saída de líquido do reservatório.
15. Realizar o procedimento para esvaziamento total do vaso de pressão.

## 8.4 Procedimento para inspeção e reparos nos condensadores evaporativos

1. Obter autorização da supervisão de manutenção para a realização do serviço através de permissão de trabalho.
2. Para a realização de testes e inspeção das serpentinas dos condensadores evaporativos, recomenda-se a parada e o isolamento do restante da instalação de apenas um dos condensadores por vez.
3. Fechar a(s) válvula(s) de bloqueio da entrada de vapor do condensador.
4. Aguardar um tempo de aproximadamente 5 minutos.
5. Fechar a(s) válvula(s) de bloqueio da saída de líquido do condensador.
6. Prover água em abundância no local (mangueira com água corrente).
7. Utilizar EPI adequado para o serviço (pelo menos luvas e máscara panorâmica com filtro).
  - 7.1 O operador deve estar treinado em utilizar o EPI;
  - 7.2 O operador deve verificar se o EPI encontra-se dentro do prazo de validade (se aplicável);
  - 7.3 Todo EPI deve ser testado pelo operador antes do seu uso.
8. Instalar no ponto de dreno de saída da serpentina um conjunto com:
  - 8.1 01 manômetro com escala de 0 a 18 bar g;
  - 8.2 01 válvula de retenção para impedir o retorno de água para o interior da serpentina durante a drenagem final de Amônia;

- 8.3 01 válvula de bloqueio com regulagem manual para controle da drenagem.
9. Instalar a mangueira com trama de aço inox na conexão de dreno da serpentina do condensador evaporativo (após a válvula de retenção e a válvula de regulagem) e direcionar a mesma para um tanque de água, com volume de pelo menos 200 L.
  10. Abrir a válvula de dreno da serpentina e logo em seguida voltar a fechá-la.
  11. Verificar se a válvula de bloqueio instalada está operacional e garante vedação.
  12. Iniciar a drenagem abrindo a válvula de bloqueio até no máximo 02 voltas.
  13. Monitorar a drenagem até que o borbulhamento no tanque de água finalize.
  14. Fechar a válvula de bloqueio manual.
  15. Monitorar a pressão no manômetro até que se atinja a pressão de 0.0 bar g.
  16. Caso houver um pequeno aumento de pressão, repetir os passos 12 a 15 até que se certifique que a pressão no manômetro está em 0.0 bar g.
  17. Retirar a mangueira da conexão de drenagem.
  18. Recolher a mistura água-Amônia no tanque de absorção de Amônia. Usar luvas e máscara panorâmica com filtro.
  19. Não jogue a mistura água-Amônia diretamente no esgoto. Ela deve ser neutralizada até se atingir um pH neutro.
  20. Introduza uma carga lenta de nitrogênio seco no interior da serpentina com pressão de 2.0 bar g a ser mantida por 1 hora. Não utilize ar comprimido ao invés de nitrogênio.
  21. Alivie a carga de nitrogênio de modo a manter uma pequena pressão positiva de nitrogênio no sistema durante o trabalho a quente. Caso nitrogênio não estiver disponível, abra uma válvula para a atmosfera para que a pressão interna permaneça próxima da atmosférica.
  22. Liberar a serpentina do condensador para atmosfera e emitir uma comunicação de que o condensador está liberado para inspeção e testes com assinatura do supervisor de manutenção.
  23. Em caso de cortes ou soldas, seguir os procedimentos de permissão de trabalho a quente. Utilize EPI apropriado, mesmo que se acredite que a linha esteja toda vazia. Nunca assuma que uma linha esteja toda vazia de óleo ou Amônia residual. O trabalho de corte e solda deve ser feito por profissionais (soldadores) qualificados e experientes.

24. Ventiladores portáteis são úteis para dispersão dos vapores para fora da área de trabalho.

## 8.5 Procedimento sobre a manutenção geral do sistema de refrigeração

Este procedimento não é usual em sistemas de refrigeração, pois existe o conceito que o sistema nunca pode parar. No entanto, a manutenção de todos os componentes da instalação é essencial para o desempenho, a segurança operacional e a própria integridade e confiabilidade operacional do sistema de refrigeração. Muitas das inspeções aqui listadas podem ser realizadas em partes, de modo a evitar uma parada total do sistema. Outras precisam que haja uma parada de pelo menos 1 ou 2 dias. Esta parada pode ser vital para o desempenho do sistema e em muitas indústrias ela rigorosamente aplicada, com um planejamento estratégico sobre todas as atividades a serem realizadas e programada com muita antecedência. A seguir um sumário dos principais pontos do procedimento:

1. A ser realizada pelo menos uma vez a cada 2 ou 4 anos, por ocasião de parada geral da instalação. Eventualmente pode ser realizada na periodicidade dos exames internos dos vasos de pressão requeridos pela NR-13.
2. Deve ser coordenada pelo gerente ou supervisor da manutenção.
3. A manutenção geral deverá ocorrer em um fim de semana prolongado (com feriado), sendo que, durante estes dias, o acesso à fábrica ficará restrito apenas a pessoas autorizadas envolvidas na manutenção do sistema.
4. O corpo de bombeiros local deverá ser informado
5. A manutenção poderá ser setorizada de forma que :
  - 5.1 Durante a manutenção em um determinado setor toda área será isolada.
  - 5.2 Toda a Amônia daquele setor da instalação deverá ser transferida para o reservatório de líquido ou um tanque externo (ex. caminhão tanque).
  - 5.3 O local da manutenção mesma deverá ser suprido com água em abundância.
6. Deverão ser verificados os seguintes itens:
  - 6.1 Válvulas de Bloqueio (corpo, assentos, etc.);

- 6.2 Válvulas de Controle;
- 6.3 “Switches” de Proteção (incluindo elementos digitais eletrônicos de proteção e elementos eletro-mecânicos como pressostatos e termostatos);
- 6.4 Válvulas de Segurança;
- 6.5 Válvulas Solenóides;
- 6.6 Controles de Nível;
- 6.7 Intertravamentos elétricos;
- 7. Deverá ser realizada a inspeção visual com o “checklist” nos seguintes itens:
  - 7.1 Compressores;
  - 7.2 Condensadores;
  - 7.3 Evaporadores (incluindo forçadores de ar, trocadores a placa, etc);
  - 7.4 Vasos de Pressão (reservatório de líquido, separadores de líquido, resfriadores intermediários, acumulador de sucção, separadores de óleo e vasos auxiliares);
  - 7.5 Bombas de Amônia;
  - 7.6 Isolamento térmico e estado de conservação das tubulações;
  - 7.7 Painéis elétricos.

# 9. Literatura de referência, software e bibliografia utilizados

Além das normas e standards internacionais mencionados no item 2.1, foram utilizadas a seguintes referências:

## 9.1 Literatura

- [1] **Bulletin R1 – 1983:** A Guide to Good Practices for the Operation of an Ammonia Refrigeration System.
- [2] **Bulletin 108 – 1986:** Guidelines for: Water Contamination in Ammonia Refrigeration Systems.
- [3] Nielsen , P. S. – **Effects of Water Contamination in Ammonia** – Proceedings of 20th Annual Meeting of International Institute of Ammonia Refrigeration – 1998 – Colorado Springs – USA.
- [4] **Bulletin 116 – 1992:** Guidelines for: Avoiding Component Failure in Industrial Refrigeration Systems Caused by Abnormal Pressure or Shock – International Institute of Ammonia Refrigeration.
- [5] **Bulletin 107 – 1997:** Guidelines for: Suggested Safety and Operating Procedures when Making Refrigeration Plant Tie-Ins.
- [6] Cleto, L. T. – **Procedimentos de Operação e Manutenção em Instalações de Refrigeração por Amônia** – Revista Tecnologia de Refrigeração – Set/Out/Nov – 2002 – São Paulo – SP.

## 9.2 Software

- {1} **COMP1** – Ver.18.50 – Computation and Balancing of Components and Plants – International Technical Computing – Johnson Controls Inc - Ed. 2009.

## 9.3 Bibliografia

- **ASHRAE Handbook of Refrigeration** – American Society of Heating Air Conditioning and Refrigerating Engineers – Ed. 2006
- **IIAR – Ammonia Data Book** – International Institute of Ammonia Refrigeration – Ed. 1993 Rev. 1997.
- **Loyko, L. – Hydraulic Shock in Ammonia Systems** – IIAR Technical Paper T-125, 1989.
- **Stoecker, W.F. – Industrial Refrigeration** – Business News Publishing Company, Troy, MI, 1998.
- **Strong, A.P. – Hot Gas Defrost: A-One A-More A-Time** – IIAR Technical Paper T-53, 1984.



# Apêndice A – Critérios de projeto para coletores de óleo

A NR-13 (Anexo III) estabelece que qualquer vaso de pressão que contenha fluido da classe “A” (ex. Amônia), independente do produto Pressão x Volume deverão ser enquadrados conforme os requisitos da mesma. Portanto, os coletores de óleo deverão possuir:

- Válvula ou outro dispositivo de segurança com pressão de abertura ajustada em valor igual ou inferior à PMTA (Pressão Máxima de Trabalho Admissível) do vaso, instalada diretamente no vaso ou no sistema que o inclui.
- Dispositivo de segurança contra bloqueio inadvertido da válvula quando esta não estiver instalada diretamente no vaso (ex. válvula dupla de segurança com válvula de 3 vias para manutenção). Em caso de válvula simples não deverá haver válvula de bloqueio entre o vaso e o dispositivo de segurança.
- Manômetro indicador de pressão com escala adequada (ex. -1.0 a 21 bar g)
- Plaqueta de identificação indelével com pelo menos os seguintes dados:
  - a. Fabricante;
  - b. Número de identificação do fabricante (nr. de série);
  - c. Ano de fabricação;
  - d. Pressão máxima de trabalho admissível;
  - e. Pressão de teste;
  - f. Código de projeto e ano de edição;
  - g. Categoria do vaso, conforme Anexo IV da NR-13;
  - h. Número ou código de identificação do vaso (Tag).
- Prontuário do Vaso de Pressão com a seguinte documentação devidamente atualizada:
  - a. Código de projeto e ano de edição;
  - b. Especificação dos materiais;
  - c. Folha de dados do dispositivo de segurança;
  - d. Desenhos de Projeto ... (entre outros documentos).

Sobre o dispositivo de alívio, o **EN 378:2008 (Part 2, item 6.2.6.6)** estabelece ainda que quando um dispositivo de alívio (ex. válvula de segurança) simples está com a sua linha de descarga conectada a um vaso de baixa pressão do sistema, deverá ser instalada uma válvula de bloqueio na linha de descarga do dispositivo de alívio, entre o dispositivo e o vaso de baixa pressão, de modo a permitir a calibração ou substituição do dispositivo de segurança simples, sem a necessidade de esvaziar totalmente o vaso de baixa pressão sobre o qual o dispositivo realiza a descarga de alívio.

Neste caso, a válvula de bloqueio deverá ser travada de algum modo (com “caps” ou trava com cadeado) e marcada com um selo de travamento claramente identificado, o qual só poderá ser rompido por ocasião da calibração ou substituição do dispositivo de segurança. (Ver exemplo no item 8.1 – Fig.02 – PSV + V-06).

Outra alternativa seria a descarga direta para a atmosfera, através de uma tubulação de descarga para um ponto seguro (conforme aplicado aos demais vasos do sistema).

Para evaporação do óleo, não se recomenda a injeção direta de gás quente no coletor de óleo, pois é extremamente ineficiente.

Para a serpentina com injeção de gás quente, recomenda-se ainda utilizar gás quente proveniente da zona de vapor do recipiente de líquido, para evitar altas temperaturas que irão provocar o efeito de “espumação” excessiva no coletor de óleo. Recomenda-se que válvula de injeção de gás quente seja do tipo reguladora de vazão, para permitir um melhor controle da injeção e evitar a “espumação” do óleo.

Como alternativa pode ser utilizado uma serpentina com água quente ou ainda uma resistência elétrica, porém deve-se evitar uma fonte de calor com temperatura muito elevada (max. ~40°C).

A serpentina de gás quente (ou a fonte de aquecimento) deverá ser dimensionada para evaporar uma carga de Amônia líquida (pior caso) de 75% do volume interno do vaso durante 1 hora.